UMA REFLEXÃO
SOBRE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
Chigi

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG

UMA REFLEXÃO SOBRE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

BELO HORIZONTE (MG) – BRASIL
2016

Copyright: Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig

Diretor-Presidência
Mauro Borges Lemos
Diretor-Vice Presidente
Paulo Roberto Castellari Porchia
Superintendência de Tecnologia, Inovação e Eficiência Energética
Carlos Renato França Maciel
Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas
Ricardo Luiz Jardim Carnevalli

Autor:
Cláudio Homero Ferreira da Silva

Capa:
Luiz Renato Gomes

Companhia Energética de Minas Gerais.
Uma reflexão sobre alternativas energéticas [livro eletrônico] / Cláudio Homero Ferreira da Silva. – Belo Horizonte: Cemig, 2016.

7,3 MB; ePUB.
ISBN 978-85-87929-64-8

1. Energia - Fontes alternativas - Brasil. 2. Recursos energéticos. 3. Recursos naturais renováveis. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Silva, Cláudio Homero Ferreira da. II. Título.

CDD: 620.91

Disponível *online* em:

<http://www.cemig.com.br/Inovacao/AlternativasEnergeticas>
<http://cemig20/Inovacao/AlternativasEnergeticas>
Este livro faz parte dos estudos realizados dentro do P&D Cemig/Aneel GT 0553.

APRESENTAÇÃO

A ideia de produzir esse livro surgiu durante o Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – CITENEL, realizado no ano de 2015. E a inspiração ocorreu em função de um livro que foi lançado pela empresa AXXIOM, onde havia uma descrição resumidas sobre os projetos de pesquisa realizados. Pensei: por que não escrever um livro que apresentasse um resumo dos projetos de pesquisa realizados pela Gerência de Alternativas Energéticas?

Torna-se importante definir o termo - Alternativas Energéticas:

> *"são as fontes energéticas, tecnologias de transformação e provimento e usos da energia que se caracterizam por serem não-tradicionais no presente e potencialmente sustentáveis, o que se traduz em baixo impacto ambiental, viabilidade econômica, justiça social e aceitação cultural" (Bruno Marciano, 2008)*

Torna-se obvio que existe uma grande diferença entre Alternativas Energéticas (opções em todos os segmentos do sistema) e Fontes Alternativas (preocupadas essencialmente com produção de energia).

Cabe aqui um breve histórico para melhor entendimento sobre como chegamos até aqui. Vim para a Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas em 2006, por meio de um concurso interno, para trabalhar como engenheiro de tecnologia, e operar o laboratório de hidrogênio, que havia sido construído dentro do projeto de pesquisa P&D 050. Naquela ocasião não havia ainda nenhuma gerência, sendo a superintendência composta por três núcleos: Alternativas Energéticas – ALTENER, Gestão Tecnológica e Normalização Técnica. Em 2007, como desdobramento natural para a manutenção de uma superintendência, criaram-se duas gerências: Gerência de Alternativas Energéticas (TE/AE) e Gerência de Gestão Tecnológica (TE/TN). Contudo é importante destacar que a Cemig desde sempre teve em seu DNA as alternativas energéticas. Em 1952 a Empresa surgiu como uma alternativa para o desenvolvimento do Estado. Desde as décadas de 1970, 1980 e 1990 podem ser notadas a atuação em projetos de energia renovável. Foram projetos como: gaseificação de carvão vegetal, fazenda energética, sistemas de biodigestão, hidrogênio. Em 1997, a Cemig implantou a primeira usina eólico-elétrica interligada ao sistema elétrico brasileiro, sendo pioneira em uma fonte que somente 15 anos depois se tornaria comercialmente competitiva.

Dentre as atribuições de competência da TE/AE, encontravam-se os seguintes pilares: elaboração do Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG, realização de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico (P&D) com coordenação pela TE/TN; desenvolvimento de avaliações tecnológicas como subsídio a tomada de decisões empresariais e elaboração de políticas e diretrizes em alternativas energéticas. Ao longo de toda a sua existência a TE/AE contou na média com 4 engenheiros, 3 técnicos. Além disso, contou-se eventualmente com contratados para a realização de atividades bastante específicas e mais de 25 estagiários no período de 2006-2016. Em 2016, a Cemig resolver reposicionar a área nas estratégias empresariais, resultando em sua primeira alteração de denominação e atribuição desde 2007, passando então para Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas. O grande diferencial desta mudança estava no direcionamento de esforço para assuntos como: geração distribuída, *smart grid*, *smart city*, iluminação pública como alavanca para uma nova rede. Entretanto, devido a dinâmica do setor elétrico, ainda em 2016, a TE/ET foi incorporada a Gerência de Gestão da Inovação Tecnológica e Alternativas Energéticas (TE/XX) de forma a constituir uma gerência com processos mais robustos e alinhados com as necessidade de solução empresarial.

Assim, este livro que originalmente foi concebido como uma forma de divulgar e incentivar os resultados da área se constitui no legado de Alternativas Energéticas para a Empresa, evidenciando os resultados e benefícios alcançados durante a existência da TE/AE.

Desejamos a todos uma boa leitura.
Que seja profícua para novas ideias, projetos e pesquisas!

Cláudio Homero Ferreira da Silva, Dr. Eng. Química
Engenheiro de Tecnologia e Normalização

SUMÁRIO

Capítulo 1: Aspectos e Desafios da Energia Renovável no Brasil 11
1.1 Introdução 11
1.2 Sistema Energético Brasileiro 13
1.3 Potencial de Energia Renovável no Brasil 24
Energia Hídrica 25
Energia Eólica 26
Energia Solar 28
Energia da Biomassa 30
Energia Geotérmica 31
Energia Oceânica 32
Eficiência Energética 33
Comentários sobre Fontes Não-Renováveis e Tecnologias Emergentes 37
1.4 Consolidação sobre o Potencial de Energia Renovável no Brasil 41
1.5 Desafios para Fontes Renováveis no Brasil 42
1.6 Considerações Finais 44

Capítulo 2: Projeto de Pesquisa em Fontes Alternativas Realizados pela Cemig 47
2.1 Introdução 47
2.2 Projetos de P&D no âmbito do Programa ANEEL 49
2.3 Projetos Concluídos 50
P&D 001 50
P&D 008 53
P&D 050 56
P&D 097 58
P&D 108 61
P&D 119 63
P&D 123 65
P&D 141 67
P&D 181 69
P&D 183 72
P&D 185 74
P&D 194 76
P&D 228 78
P&D 232 81
P&D 234 83
P&D 237 85
P&D 272 87
P&D 273 89
P&D 288 91
P&D 291 93

P&D 292 95
P&D 358 97
P&D 392 100
P&D 416 102
P&D 453 105
P&D 468 108
P&D 474 113
P&D 496 115
Consolidação de Resultados para Projetos Concluídos. 117
Custo 118
Prazo 118
Escopo 119
Qualidade 120
2.4 Expectativa de Resultados de Projetos em Andamento 123
P&D 418 124
P&D 498 124
P&D 553 124
P&D 554 125
P&D 555 125
P&D 556 126
P&D 557 126
P&D 713 127
P&D 714 127
P&D 717 128
Consolidação para a Expectativa de Resultados para Projetos em Andamento 128
Custo 128
Prazo 128
Escopo 129
Qualidade 129
2.5 Projetos Interrompidos 130
P&D 482 130
P&D 470 131
P&D 497 132
Resultados Obtidos nos Projetos Interrompidos 133
Custo 133
Prazo 133
Escopo 133
2.6 Projetos Cancelados 134
2.7 Projetos em Contratação 135
2.8 Exercício Hipotético de um Balanço Global acerca do Conjunto de Projetos 136
Custo 136
Prazo 136
Escopo 137

Qualidade 138
2.9 Comentários Finais 144

Referências 146

Apêndice 159
Cartilha sobre Estudos Tecnológicos 159

Capítulo 1

Capítulo 1: Aspectos e Desafios da Energia Renovável no Brasil

A energia trata-se de um dos pilares que sustentam a sociedade atual e o seu modo de vida. No Brasil, as fontes de energia renovável como a Hídrica, tem um importante papel na matriz energética. Além disso, o país possui em abundância as demais fontes renováveis. Questões culturais e sociais competem na decisão de novos empreendimentos, entretanto o planejamento energético para o setor elétrico ainda prevê a manutenção da composição renovável na matriz, com implantação crescente principalmente das fontes: hídrica, eólica, biomassa e solar. Cabe ainda ressaltar a grande expectativa em torno de configurações de sistemas de geração distribuídas e os conceitos tecnológicos associados. Os fatores que mais contribuem ou dificultam para a ampla inserção de energia renovável são: a complexidade legal e regulatória, a dependência de incentivos e políticas governamentais para alavancar iniciativas nesses setores e também a necessidade de desenvolvimentos científicos e tecnológicos nacionais nos temas associados a energia renovável.

1.1 Introdução

O Brasil é um grande país. Localizado no hemisfério sul, na América Latina, possui uma extensão territorial quase continental de 8.510.000 km^2 (IBGE, 2014) e uma população de mais de 206,1 Milhões de habitantes (THE WORLD BANK, 2014). Em termos comparativos isto significa uma dimensão um pouco menor do que de toda a Europa – 9.930.000 km^2 (MACKAY, 2009) com uma população próxima a soma de países como: Alemanha, Reino Unido e França (200 Milhões de habitantes). O país vem se desenvolvendo economicamente ao longo das últimas décadas e por algumas vezes já foi tido como uma grande aposta para o futuro, com possibilidade de rápido desenvolvimento. Sua economia está entre as maiores do mundo, mas ainda possui índice de pobreza elevado com consequente desigualdade social (THE WORLD BANK, 2014a). O comportamento econômico ao longo das crises mundiais nos últimos anos tem indicado a vulnerabilidade e dependência do país a fatores externos, com a frequente necessidade de atuação nas políticas fiscais e monetária.

Historicamente, fatores como: a segurança energética, a segurança alimentar e a segurança militar, têm movido as nações em direção ao desenvolvimento social e econômico, assim como para arranjos geopolíticos. Entretanto, a partir de 1970, com as crises mundiais do petróleo, outras características têm sido adicionadas a esses fatores, como: a escassez dos recursos naturais e o aquecimento global devido à emissão de gases de efeito estufa em decorrência principalmente pelo uso de fontes fósseis. Tais características tem tomado grande importância e se configuram nos argumentos, do ponto de vista ambiental, para a decisão e a revisão de investimentos e diversificação de ações, impactando significativamente na construção dos sistemas energéticos das nações.

Neste contexto, pode-se definir que aliado a escassez de recursos, o grande problema da sociedade atual reside nas consequências do aquecimento global, em função das emissões de gases de efeito estufa. A identidade de Kaya – Eq. 1.1 (GRID-ARENDAL, 2014) indica as possibilidades de se lidar com a questão cuja síntese é discutida a seguir:

$$CO_2 = \text{Pessoas} \times \frac{\text{Serviços}}{\text{Pessoas}} \text{x} \frac{\text{Energia}}{\text{Serviços}} \text{x} \frac{CO_2}{\text{Energia}} \tag{1.1}$$

- A captura e sequestro de carbono. Tais tecnologias encontram-se em desenvolvimento, mas ainda sem previsão de disponibilidade comercial. A sua disponibilidade e implantação em larga escala em modo econômico poderia levar a ampliação da exploração das fontes fósseis sem que se ampliassem os efeitos da emissão de gases de efeito estufa e as consequências sobre o aquecimento global.
- A componente populacional possui um importante impacto nas emissões com um reflexo na também sob o ponto de vista de padrão de consumo. A população mundial é aproximadamente de 7,2 bilhões de pessoas (THE WORLD BANK, 2015) com tendência de crescimento. A atuação nesse segmento é complexa e deve ser liderada basicamente pela ação governamental com ações de educação e mudança cultural, com consequências de longo prazo. Entretanto é importante perceber que não se constituem em opções realizáveis considerando o atual modelo social e econômico;
- O uso de **energia renovável** e a aplicação de **eficiência energética**. Tratam-se das opções naturais de evolução dos sistemas energéticos, buscando minimizar e diversificar o uso de recursos naturais, com menores impactos ambientais e também com menores índices de emissão.

O Brasil é um país com disponibilidade energética de fontes renováveis em larga escala e toda a sua extensão, mas que também possui desafios de implantação. Neste capitulo busca-se investigar os desafios e as potencialidades da energia renovável no Brasil, com foco em energia elétrica, buscando levantar alguns itens sobre a aceitação e o incentivo ao seu uso. Na seção 1.2 será apresentado brevemente o sistema elétrico nacional juntamente com o seu histórico e os principais desafios. A seção 1.3 indica os potenciais de energia renovável no país. Os principais gargalos são mostrados na seção 1.4. A seção 1.5 traz as principais considerações a respeito da reflexão sobre o futuro da energia no Brasil e encerrando o capítulo encontram-se as referências utilizadas.

1.2 Sistema Energético Brasileiro

Antes de verificar o potencial de energia renovável e discutir sobre as principais barreiras e oportunidades é importante entender o funcionamento do setor energético brasileiro e suas particularidades. Inicialmente é possível observar duas grandes frentes de desenvolvimento: a elétrica e a de combustíveis. A segunda parte tem como grande expoente a empresa Petrobrás, cujo setor é regulado pela Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis e não será tratada com maior profundidade neste capitulo, que será dedicado essencialmente ao setor elétrico.

A atual configuração deste setor se originou através da Lei Federal 10.848, de 15 de março de 2004, que estabelece, entre outras questões, os critérios gerais de garantia de suprimento de energia elétrica que assegurem o equilíbrio adequado entre confiabilidade de fornecimento e modicidade de tarifas e preços (BRASIL, 2004). Os principais agentes são indicados na Figura 1.1.

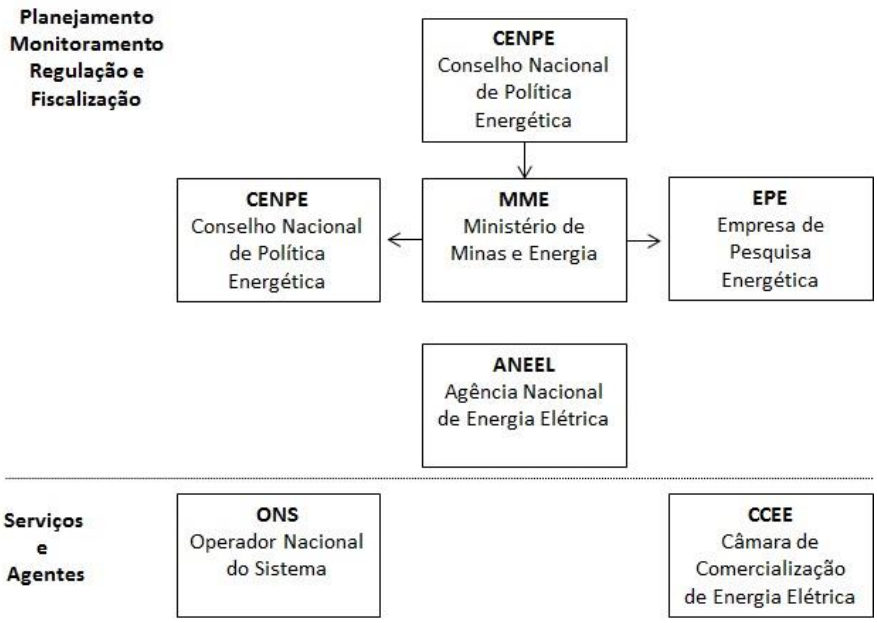


Figura 1.1 – Principais agentes do setor elétrico brasileiro (Adaptado de CCEE, 2015).

Na Figura 1.2 é ilustrado o modelo do setor elétrico de forma resumida. De acordo com EPE (2016) havia atuando no setor elétrico 2.732 agentes (em 2014), sendo: 51 autoprodutores (produz para consumo exclusivo); 156 comercializadores, 623

consumidores livre (demanda acima de 3 MW), 1168 consumidores especiais (demanda entre 500 kW e 3 MW), 51 distribuidores, 41 geradores, 647 produtores independentes (comercializada de parte ou do todo por conta e risco). A maioria dos agentes pertence a iniciativa privada podendo-se verificar um movimento de fusão e aquisição de empresas no sentido de maior rentabilidade e reposicionamento de mercado.

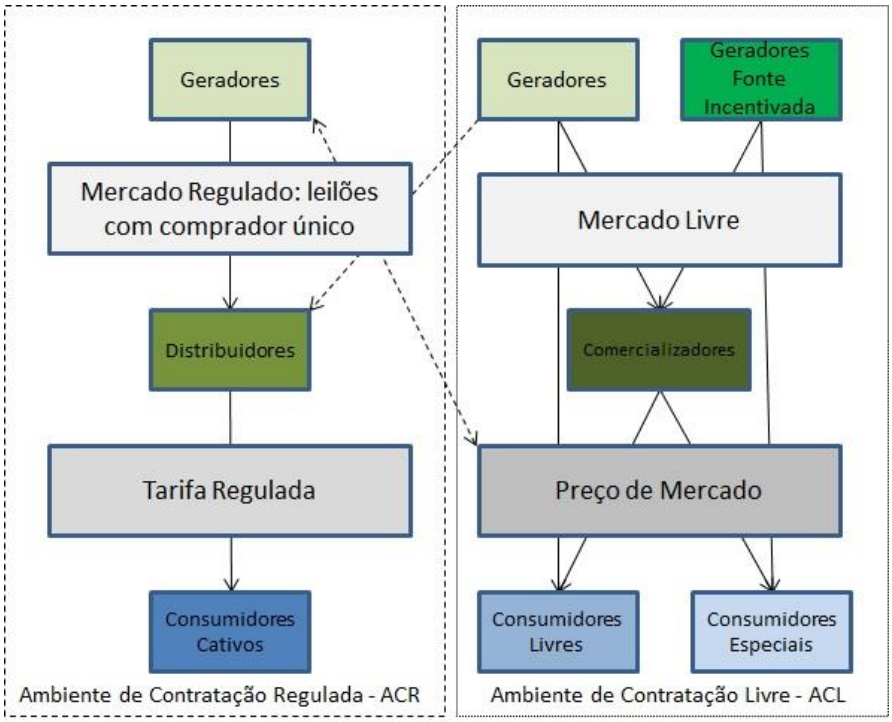


Figura 1.2 – Modelo atual do setor elétrico brasileiro (Adaptado de: LOPES, 2013).

Faz-se importantes algumas definições acerca de Geradores:

- Gerador - de serviço público são as empresas que possuem uma concessão pública;
- Gerador – autoprodutor são aqueles que produzem para consumo próprio. Eventualmente possuem conexão com a rede para segurança energética;
- Gerador – produtor independente é aquele que produz energia por conta e risco.

O consumo médio residencial no país é de 167,2 kWh/mês (EPE, 2016). Ressalta-se existe uma variabilidade significativa em torno deste valor, na medida em que se observa as regiões (entre 121 kWh/mês no nordeste e 190,3 kWh/mês na região sul) ou os estados isoladamente (entre 110 kWh/mês na Bahia e 302,4 kWh/mês em Roraima). Essa variação encontra-se associada a fatores como, por exemplo: necessidade de calefação – região sul, uso intenso de combustível em sistemas isolados – região norte. A tarifa média nacional tem o valor de R$276,96, com um aumento da ordem de 8,8% ao ano no período de 2013-2014 (EPE, 2016). Entretanto esses valores não refletem a diversidade de tarifas em função da dimensão territorial, da variedade de agentes e nem dos setores de consumo, podendo ainda ser considerada uma ampla margem para aumento do consumo e redução de tarifas. Essas ações inclusive têm sido motivo de preocupação por parte dos agentes quanto a capacidade de suprir o crescimento da demanda de energia sem, contudo, impactar na competitividade do país.

A Figura 1.3 indica os leilões de energia e suas modalidades. Buscando-se assegurar a modicidade tarifária para o ambiente de contratação regulado, adotou-se o modelo de leilões, onde o edital prevê um preço teto e cujo vencedor é definido como aquele que oferece o maior desconto em relação ao preço teto. De acordo com o Decreto 5163/2004 (BRASIL, 2004a):

- O Ministério de Minas e Energia (MME) definirá: o montante total de energia elétrica a ser contratado; e a relação de empreendimentos de geração aptos a integrar os leilões;
- A EPE – Empresa de Pesquisa Energética submeterá ao Ministério de Minas e Energia, para aprovação, a relação de empreendimentos de geração que integrarão, a título de referência, os leilões de energia proveniente de novos empreendimentos, bem como as estimativas de custos correspondentes. A EPE habilitará tecnicamente e cadastrará os empreendimentos de geração que poderão participar dos leilões de novos empreendimentos, os quais deverão estar registrados na ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;
- A ANEEL promoverá, direta ou indiretamente, licitação na modalidade de leilão, para a contratação de energia elétrica pelos agentes de distribuição do sistema interligado, observando as diretrizes fixadas pelo Ministério de Minas e Energia, que contemplarão os montantes por modalidade contratual de energia a serem licitados.

Para o ambiente de contratação regulado, as informações mais relevantes são os preços da energia nos leilões, expressos na Tabela 1.1 e a estrutura tarifária a qual o consumidor estará sujeito, que é indicada na Tabela 1.2. Na Figura 1.4 é indicada a competividade por fonte em uma visão internacional.

A fonte solar teve em 2014 o seu primeiro leilão, realizado de modo regional pelo estado de Pernambuco, obtendo o preço de R$228,63/MWh (GLOBO, 2013). Em 2014, no 6º leilão de energia de reserva foi contratada energia de fonte solar, cujo preço inicial era de R$262/MWh e que a contratação se deu ao valor de preço mé-

dio final de R$215/MWh. A evolução dos preços em leilões apresenta valores crescentes. Isso reflete o uso de potenciais mais barato junto com o seu esgotamento. Por outro lado, maiores valores colocam mais tecnologias em condição competitiva, como indica o painel de custos de diversas tecnologias de geração de energia.

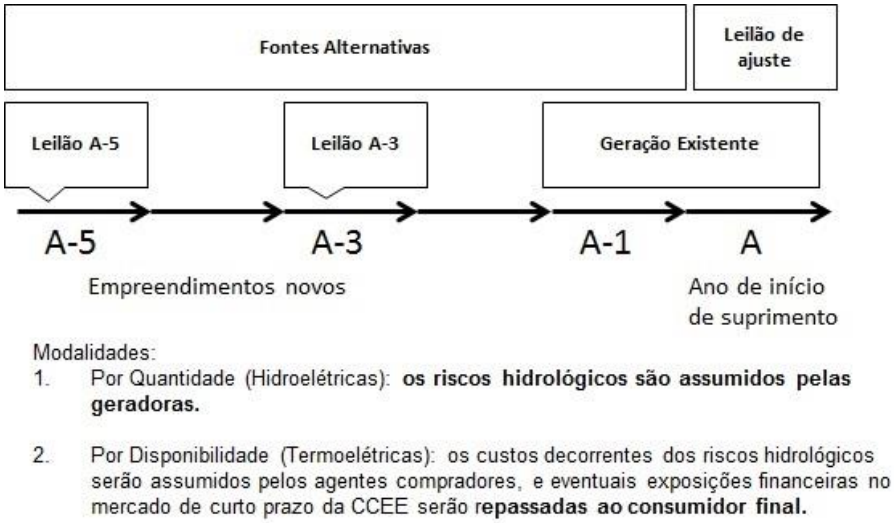


Figura 1.3 – Leilões de energia elétrica e suas modalidades (elaboração própria baseado em BRASIL, 2004a).

O modelo tarifário, em toda a sua complexidade, também pode ser dividido em duas partes que se somam para constituir a tarifa final. Na parcela A encontram-se os custos não gerenciáveis e sujeitos a revisão periódica dentro do ciclo tarifário que ocorre a cada 4 anos. Essa revisão serve para se reavaliar os elementos desta parcela de forma a se assegurar o equilíbrio econômico-financeiro da concessão. Já na parcela B encontram-se os custos gerenciáveis, compostos essencialmente de: custos operacionais, remuneração do investimento, depreciação e amortização e também os impostos. Essa parcela possui revisão anual cuja finalidade é a atualização monetária da tarifa.

Já para o caso do mercado livre, onde são praticados os preços de mercado, sujeitos a negociação e a disponibilidade, uma importante referência é o Preço da Liquidação das Diferenças (PLD), que é um valor determinado semanalmente para cada patamar de carga com base no Custo Marginal de Operação, limitado por um preço máximo e mínimo vigentes para cada período de apuração É interessante, contudo verificar a dinâmica dos preços do PLD ao longo dos últimos anos, expresso pela Tabela 1.3.

Tabela 1.1 – Leilões realizados no novo modelo do setor elétrico (CCEE, 2016).

Nº do Leilão - condição	Preço Médio (R$/MWh)	Ano
23º - Energia nova (A-5)	198,59	2016
15º - Energia existente	147,77	2015
8º - Energia de reserva	249,00	2015
7º - Energia de reserva	301,79	2015
22º - Energia nova (A-5)	214,25	2015
21º - Energia nova (A-5)	279,00	2015
3º - Fontes Alternativas	214,60	2015
18º - Ajuste	387,07	2014
14º - Energia existente (A-1)	197,09	2014
20º - Energia nova (A-5)	196,11	2014
6º - Energia de reserva	169,82	2014
19º - Energia nova (A-3)	126,18	2014
13º - Energia existente (A)	268,33	2014
12º - Energia existente (A)	166,60	2013
18º - Energia nova (A-5)	109,93	2013
17º - Energia nova (A-3)	124,43	2013
16º - Energia nova (A-5)	124,97	2013
5º - Energia de reserva	110,51	2013
15º - Energia nova (A-5)	91,25	2012
13º - Energia nova (A-5)	102,18	2011
10º - Energia existente (A)	79,99	2011
4º - Energia de reserva	101,99	2011
12º - Energia nova (A-5)	102,07	2011
11º - Energia nova (A-5)	67,31	2010
9º - Energia existente (A-1)	105,04	2010
2º - Fontes Alternativas	135,48	2010
3º - Energia de reserva	154,18	2010
10º - Energia nova (A-5)	99,48	2010
Usina de Belo Monte	77,97	2010
2º - Energia de reserva	148,39	2009
8º - Energia existente (A-1)	98,91	2009
8º - Energia nova	144,50	2009
7º - Energia nova	141,78	2008
6º - Energia nova (A-3)	128,42	2008
1º - Energia de reserva	60,86	2008
Usina de Jirau	71,40	2008
Usina de Santo Antônio	78,87	2007
5º - Energia nova	128,40	2007
4º - Energia nova (A-3, A-5)	133,00	2007
1º - Fontes alternativas	137,32	2007
5º - Energia existente	104,75	2006
3º - Energia nova (A-5)	113,12	2006
2º - Energia nova (A-3)	134,42	2006
1º - Energia nova (A-5)	123,35	2005
4º - Energia existente	94,91	2005
3º - Energia existente	62,95	2005
2º - Energia existente	83,00	2005
1º - Energia existente	71,00	2004

Tabela 1.2 – Elementos que integram o modelo tarifário de energia elétrica (elaboração própria).

Geração	**Transmissão**	**Distribuição**	**Encargos**	**Tributos**	**Custos adicionais para o Mercado Livre:**
Aquisição de energia elétrica: - Mix das distribuidoras –para o mercado cativo (R$/MWh) ou - Mix de compra do mercado livre (R$/MWh) Perdas elétricas na rede básica	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUST (TUSD Fio A): - Rede básica; - Rede de fronteira - Uso do sistema de transmissão - Uso da rede de distribuição de outras concessionárias.	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD, composta por: - Fio A → **TUST**; - Perdas Técnicas; - Perdas não técnicas; - Encargos do serviço de distribuição (RGR, P&D, TFSEE, ONS); - CCC; - CDE; - Proinfa; - Fio B: remuneração dos ativos, quotas de reintegração e custos operacionais e de manutenção.	**CCC:** Conta de Consumo de Combustíveis **RGR:** Reserva Global de Reversão **TFSEE:** Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica - ANEEL **CDE:** Conta de Desenvolvimento Energético **ESS:** Encargos de Serviços do Sistema **PROINFA –** Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica **P&D:** Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética **ONS:** Operador Nacional do Sistema **CFURH:** Compensação Financeira pelo Uso de Recursos Hídricos **Itaipu:** Pagar a energia	Federais: **PIS e COFINS** Estadual: **ICMS** Municipal: Contribuição para a Iluminação Pública – **CIP**	Contrato de Conexão Perdas na rede básica Custo da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE **ESS**

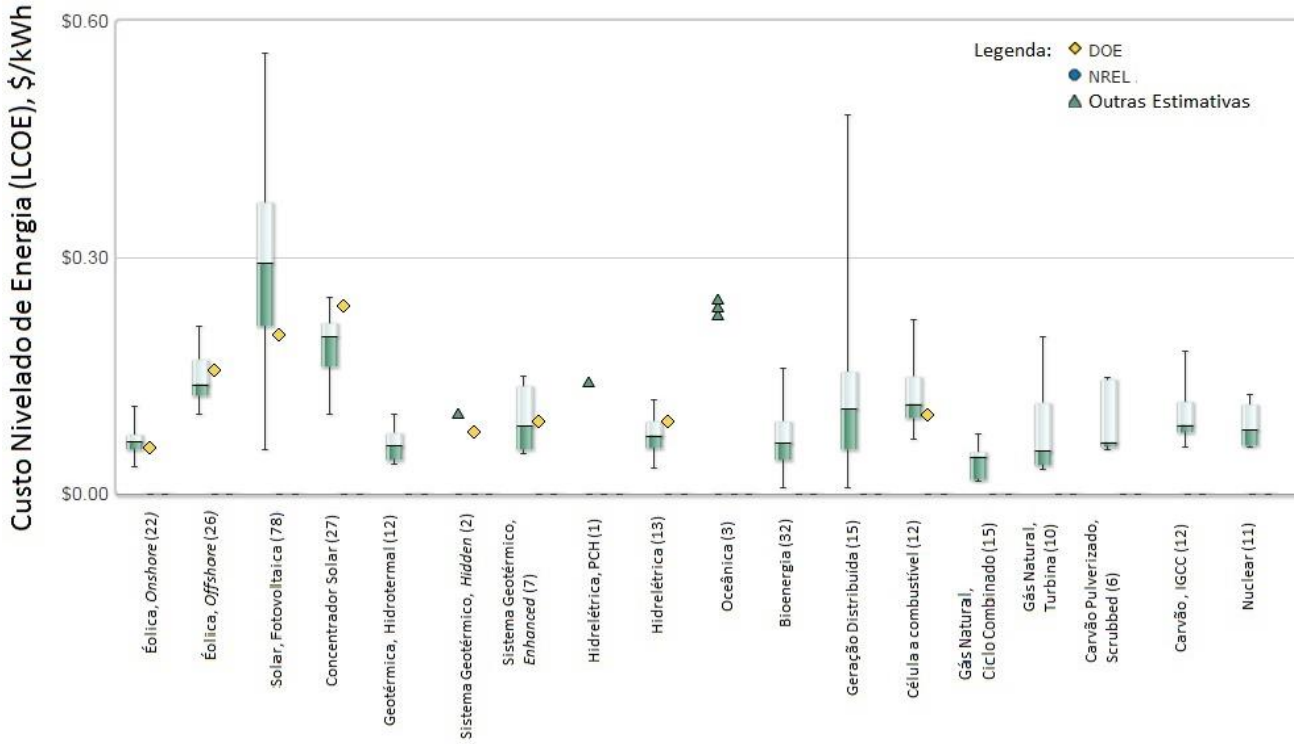


Figura 1.4 – Competitividade das fontes numa visão global em dolar (OPENEI, 2015).

Tabela 1.3 – PLD mensal (R$/MWh) para as regiões do Brasil (CCEE, 2016a).

Mês	Submercado			
	SE/CO	S	NE	N
08/2016	115,58	112,36	119,47	119,47
07/2016	83,43	83,43	108,68	106,13
06/2016	61,32	56,13	118,60	102,22
05/2016	75,93	74,91	106,07	88,98
04/2016	49,42	49,42	266,71	49,46
03/2016	37,73	37,73	249,11	37,73
02/2016	30,42	30,42	166,28	30,42
01/2016	35,66	35,61	310,38	63,49
12/2015	116,08	110,55	303,22	166,89
11/2015	202,87	186,28	274,90	257,60
10/2015	212,32	203,72	218,92	218,92
09/2015	227,04	227,04	227,04	227,04
08/2015	145,09	145,09	145,09	145,09
07/2015	240,08	205,97	243,74	241,24
06/2015	372,73	372,73	372,73	372,73
05/2015	387,24	387,24	387,24	137,14
04/2015	388,48	388,48	388,48	127,36
03/2015	388,48	388,48	388,48	339,91
02/2015	388,48	388,48	388,48	388,48
01/2015	388,48	388,48	388,48	388,48
12/2014	601,21	601,21	601,21	601,21
11/2014	804,54	804,54	804,54	804,54
10/2014	776,88	731,53	776,88	776,88
09/2014	728,95	728,95	728,95	728,95
08/2014	709,53	709,53	709,53	709,53
07/2014	592,54	503,10	592,54	592,54
06/2014	412,65	206,99	412,60	412,60
05/2014	806,97	806,97	772,21	334,59
04/2014	822,83	822,83	744,28	640,73
03/2014	822,83	822,83	756,37	696,21
02/2014	822,83	822,83	755,90	452,44
01/2014	378,22	378,22	379,35	364,80
12/2013	290,72	290,72	291,86	290,72
11/2013	331,07	331,07	331,07	331,07

Em 2014 devido ao baixo regime hidrológico (que expos a profunda dependência nacional quanto a fonte hídrica) aliadas as modificações no setor elétrico decorrentes da Lei Federal nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013 (BRASIL, 2013), o PLD sofreu uma grande variação, alcançando o teto regulatório para 2014 (R$822,83/MWh). Diante do problema em que tal patamar de preços se configurou para o setor elétrico, na revisão anual dos limites máximos e mínimos para o PLD, a ANEEL definiu que em 2015 os valores seriam de R$388,48 e R$30,26 respectivamente (ANEEL, 2014).

A matriz energética brasileira é indicada na Figura 1.5. A energia renovável possui uma participação de 39,4% na matriz energética.

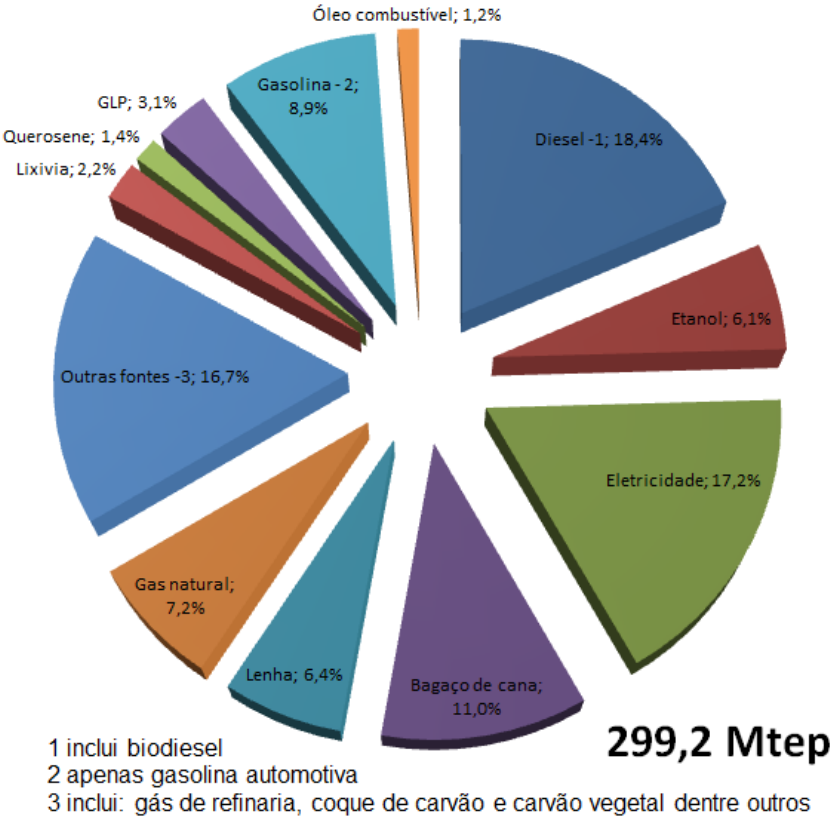


Figura 1.5 – Matriz energética brasileira em 2015 (EPE, 2016a).

No caso da matriz elétrica (Figura 1.6) a participação de renováveis chega a 74,6% (EPE, 2016a).

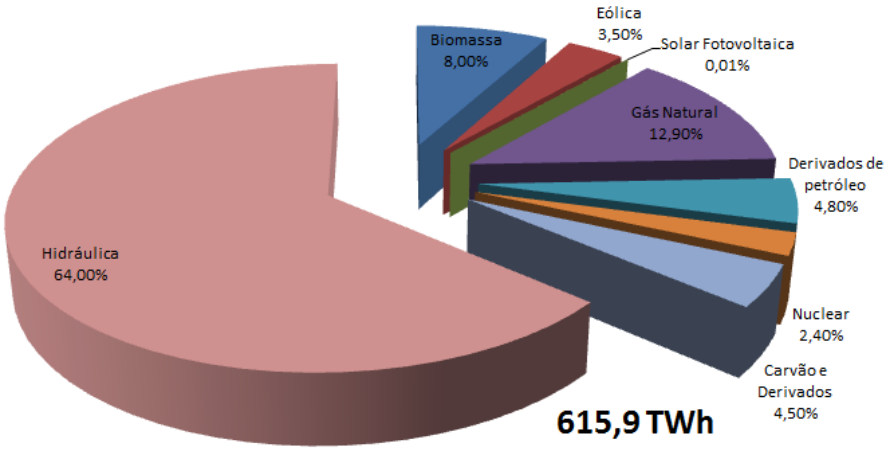


Figura 1.6 – Matriz elétrica brasileira em 2014 (EPE, 2016a).

O planejamento de expansão do sistema elétrico nacional é realizado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE através do PDE (Plano Decenal de Expansão de Energia). Esse estudo subsidia os agentes para a elaboração de projetos e execução de leilões de geração de eletricidade e também de expansão do sistema de transmissão. A Figura 1.7 resume os planos de expansão da matriz elétrica até o ano de 2024. A expectativa é de um crescimento anual de aproximadamente 7.350 MW de potencia instalada anualmente. Cabe ressaltar de que o planejamento estima um crescimento baseado ainda em fontes renováveis, como: hídrica, eólica, biomassa e solar.

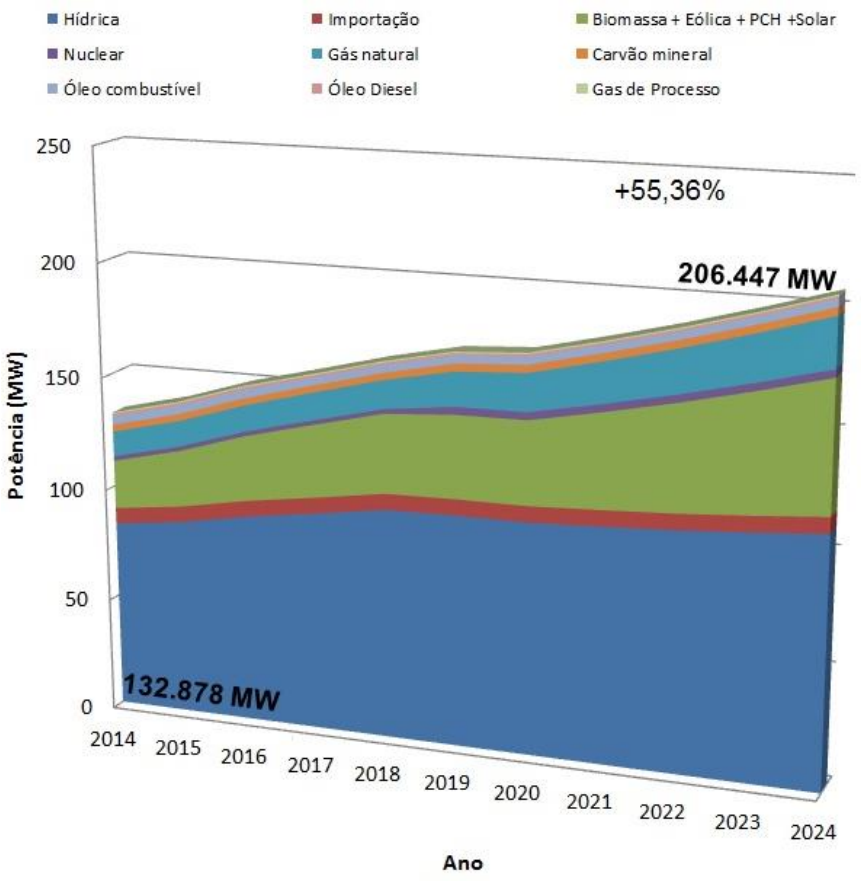


Figura 1.7 – Planejamento energético da matriz elétrica brasileira até 2024 (EPE, 2015).

É interessante refletir o que significa esse crescimento em termos de crescimento anual de potência:

- Se fosse possível apenas algumas grandes usinas hidrelétricas este valor seria obtido, por exemplo, pelo complexo das usinas de Santo Antônio (3568 MW) e Jirau (3750 MW) ;
- Se a opção exclusiva fosse em usinas eólicas, considerando que as máquinas de porte convencional possui a potência de aproximadamente 2 MW, seriam necessárias 3675 torres. Cada torre possui 3 pás, ou seja, seriam 11.025 pás circulando pelas estradas do país;

- Se a opção fosse por empreendimentos de biomassa, que se situam no pequeno porte, supondo unidades de até 30 MW, precisar-se-ia de 245 novos empreendimentos;
- Em sendo a opção por energia solar fotovoltaica, considerando-se painéis de 1,6 m^2 e com potência de 230 W pico, seriam necessários aproximadamente 32 milhões de painéis, utilizando uma área de 51 km^2.

A previsão é de que o processo de expansão no período deste estudo de planejamento mobilize investimentos da ordem de R$268,5 Bilhões na implantação de empreendimentos de geração (EPE, 2016a). Esses números refletem os desafios de planejamento, econômicos, ambientais, financeiros e sociais da expansão energética em um país de dimensões continentais. A questão da capilaridade ou da concentração de empreendimentos impacta nas tarifas de energia.

Tendo realizada uma visão abrangente do setor elétrico brasileiro, chegou o momento de se identificar os potenciais para implantação de energia renovável no Brasil, que será feito na próxima seção.

1.3 Potencial de Energia Renovável no Brasil

Apesar de a matriz elétrica brasileira ser renovável, o país busca diversificá-la de forma a minimizar a dependência e pressão sobre as fontes primárias fósseis e hídrica, de forma a assegurar um fornecimento de energia confiável e alinhado com as diretrizes mundiais de expansão das fronteiras energéticas. A seguir será apresentado um breve histórico do desenvolvimento e principalmente de fontes alternativas e não convencionais na matriz elétrica brasileira, adaptado de Campos (2014):

- 1995 - Primeira chamada pública para projetos de energia renováveis na Amazônia, no âmbito do Programa Trópico Úmido (CNPq, 2014) e, em Minas Gerais, a CEMIG inaugurou a primeira usina eólica do Brasil e da América Latina, com 1 MW de potência, no Morro do Camelinho (CEMIG, 2014).
- 1996 - Incentivos de redução da tarifa de uso da Rede (TUSD) em pelo menos 50% às centrais de energias renováveis, com energia injetada de até 30.000 kWh/h, que é regulado pelo Art. 26, § 1º, Lei Federal nº. 9427 (BRASIL, 1996). Atualmente esta redução é da ordem de 80% para a geração distribuída solar, pela Resolução Normativa Aneel, REN 482/2012 (ANEEL, 2012).
- 1997 – Definida a isenção de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias) e IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) equipamentos e sistemas de energias renováveis (VARELLA et al. 2008). Esse benefício permanecerá ativo até 2022.
- 2001 – criado o PROEólica – Programa Emergencial de Energia Eólica (BRASIL, 2001), com 1050 MW de energia eólica.
- 2002 – criação do PROINFA – Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia (BRASIL, 2002), que impulsionou com muito sucesso o aproveitamento do potencial eólico nacional, apesar de que originalmente visava também incentivar PCH's (pequenas centrais hidrelétricas) e a biomassa. Também

foi lançado pelo MCT o Programa Nacional de Produção e Uso de Biocombustíveis e o Programa de Células às Combustível, a partir de combustível renovável. Condução de ações de universalização dos serviços de eletricidade com soluções tecnológicas de sistemas híbridos de energias renováveis, tendo sido criado o Programa Luz no Campo (BRASIL, 2002) e a CDE – Conta de Desenvolvimento Energético (BRASIL, 2002), que tinha por finalidade principal viabilizar recursos para cobrir o custo marginal da expansão do aproveitamento das energias renováveis.

- 2009 – criação do Fundo Clima do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento) com condições especiais para financiar o desenvolvimento de usinas de energias renováveis, inclusive solares, com taxas bastante atrativas (BNDES, 2014).
- 2012 - Resolução nº 482/2012 que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).
- 2013 - O estado de Minas Gerais isenta a cobrança de ICMS para fontes alternativas geradas e consumidas dentro do estado (SEF/MG, 2013).

Destaca-se que ao longo da última década houve um esforço de produtividade empresarial e competitividade pela indústria nacional, no sentido de se capacitar para o fornecimento de tecnologias, bens e serviços. Houve também uma grande mobilização dos agentes envolvidos com o setor elétrico resultando na criação de diversas entidades setoriais, que passaram a atuar ativamente na defesa dos interesses de seus associados, assim como no fomento de políticas e diretrizes que possibilitem a competitividade das fontes renováveis. Além disso, houve um importante papel desempenhado por instituições de fomento e esforços de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

Um exemplo disso é o investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico no âmbito do Programa Aneel e de Projeto de Eficiência Energética – PEE realizado de forma compulsória por todos os concessionários de serviço de energia, com a aplicação de 1% da receita operacional líquida (BRASIL, 2000) e que será mais profundamente tratado no Capítulo 2.

Energia Hídrica

Conforme pode ser verificado através do planejamento de expansão, a fonte hídrica continuará, pelo menos nos próximos anos a ter grande importância para o suprimento da demanda. A Figura 1.8 apresenta a distribuição territorial do potencial hídrico. O Brasil conta com 93 GW de potência instalada e em operação de fonte hídrica e mais 16 GW em construção (ANEEL, 2015). Esse total de empreendimentos hídricos representa aproximadamente 43% do potencial disponível (37% considerando-se apenas empreendimentos em operação), concentrados principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país (ELETROBRAS, 2015a), que se constitui nos grandes centros de consumo. O maior potencial para novos empreendimentos encontra-se na região Norte do país, na Bacia do Rio Amazonas (ELETROBRAS, 2015b), que coincide com a área da floresta amazônica, que é uma região de pla-

nície. Tal fato leva a grandes debates, sob o ponto de vista político, cultural e ambiental, sobre o uso da terra, a alocação de pessoas e também com relação aos impactos ambientais que podem ter alcance global. Considerando os movimentos em torno de usinas em processo de construção, como por exemplos, as usinas de Jirau, Santo Antônio e Belo Monte, a expansão da geração hídrica nesta região enfrentará grandes dificuldades.

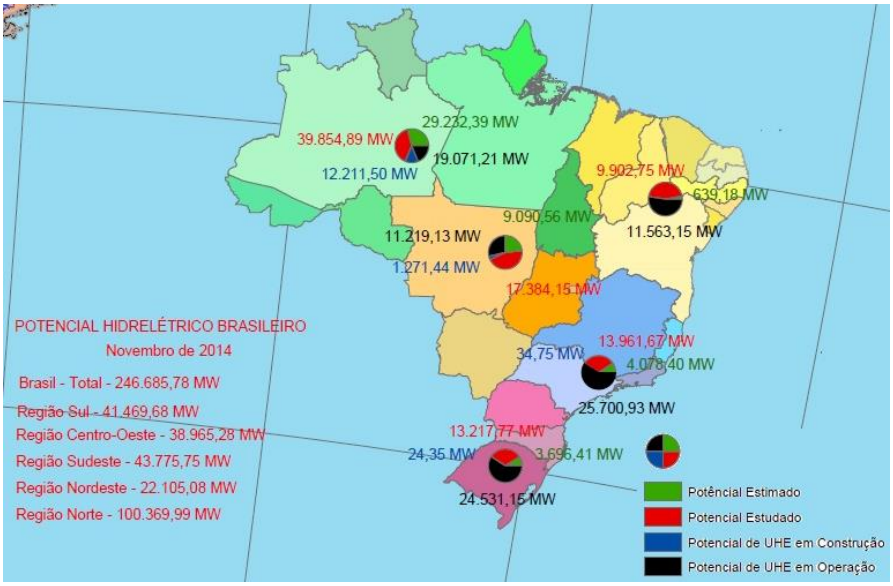


Figura 1.8 – Mapa do potencial hídrico brasileiro (ELETROBRAS, 2015).

Energia Eólica

Outra fonte que vem se ganhando espaço na matriz elétrica nos últimos anos é a eólica. Na Figura 1.9 é verificado que o potencial estimado em 2001 para torres de 50 metros de altura seria de 143 GW. É importante observar que devido a evolução dos geradores eólicos (com maiores potências) e elevação da altura das torres, esse potencial será significativamente maior. Um exemplo disso é constatado pela emissão do Atlas do Potencial Eólico do Estado de Minas Gerais, que estimou um potencial de 40 GW, contra os 10 GW estimados a 50 metros no atlas brasileiro (AMARANTE et al., 2010).

ABEEOLICA (2015) indica que a capacidade instalada em parques eólicos em outubro de 2015 era de 7,5 GW distribuídos em 290 parques e representando, estando em construção mais 10,5 GW. A região Nordeste do país concentra a maioria dos parques, principalmente devido a questões logística e técnicas (maior velocidade e estabilidade de ventos) e parques litorâneos que facilitam as questões logísticas para a construção das usinas.

É interessante observar que no caso brasileiro, existe uma complementariedade entre as fontes eólica e hídrica, conforme indica a Figura 1.10, havendo ainda a possibilidade de se explorar a sinergia entre outras fontes como a térmica e a solar.

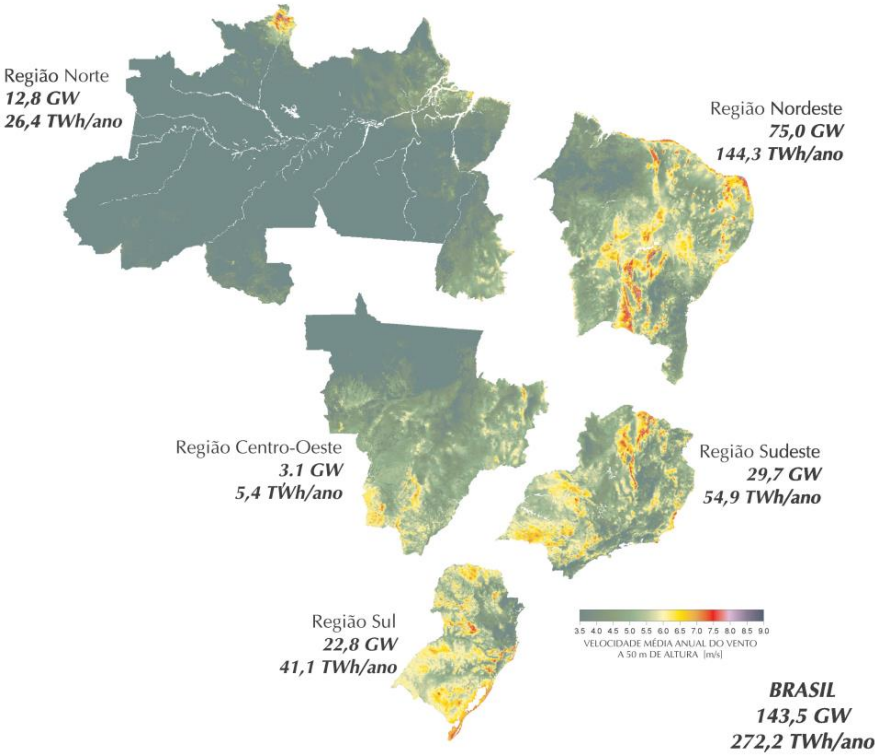


Figura 1.9 – Mapa do potencial eólico brasileiro estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s e torres de 50 m de altura (AMARANTE et al., 2001).

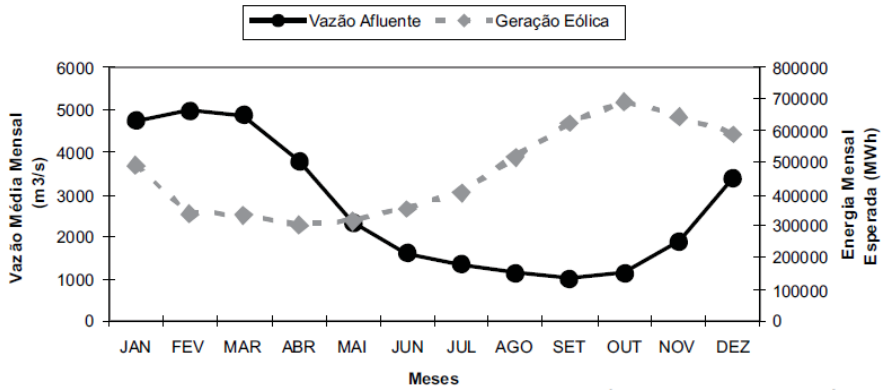


Figura 1.10 – Complementariedade entre as fontes eólica e hídrica (MARINHO E AQUINO, 2011).

Energia Solar

Pela localização entre geográfica e extensão territorial, o Brasil possui um grande potencial de energia solar, principalmente considerando-se as diversas modalidades e forma tecnológicas de produção e uso desta fonte. A Figura 1.11 apresenta o mapeamento da energia solar no país. Para utilização da energia fotovoltaica e solar térmica de baixa temperatura, qualquer local do país possui excelente condição, necessitando de disponibilidade de área. Já para o caso de energia solar térmica de alta temperatura (solar termoelétrica) já existem restrições, pois essa tecnologia pois dependem da radiação direta.

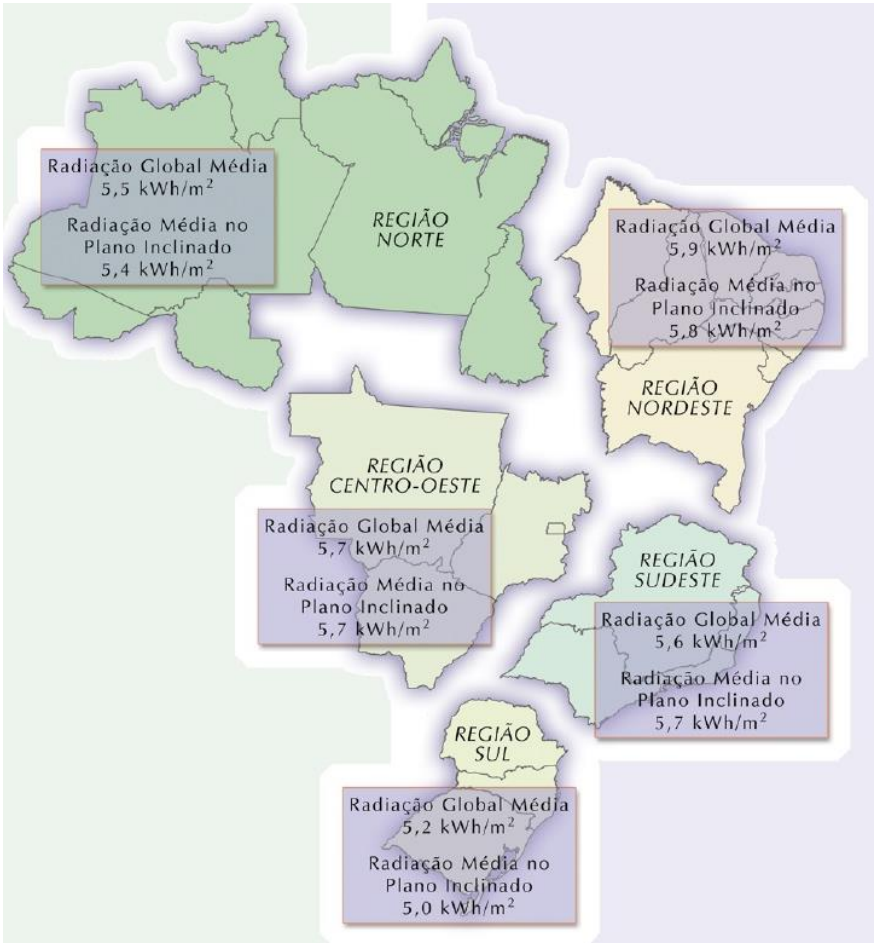


Figura 1.11 – Mapa do potencial solar no Brasil (PEREIRA et al., 2006).

Essa fonte já tem sido bastante utilizada, principalmente em programas de universalização de acesso a energia elétrica, no atendimento de comunidades isolada, que no período de 2003-2010 atendeu a mais de 10 milhões de pessoas (MME, 2010). Outra frente de empreendimento é a utilização da energia solar na forma térmica de baixa temperatura, através de coletores solares. Cemig (2014a) indica que a área implantada de coletores solares no estado é de 2,519 milhões de m^2, com incremente anual crescente da ordem de 10%. A utilização desta forma de energia tem sido bastante importante para o setor elétrico uma vez que desloca e suaviza o pico de consumo de eletricidade, que ocorrem entre 17 e 22 horas principalmente em função da utilização de chuveiros elétricos para banho. A potência instaladas destes painéis de 1.763 MW_{th} e acarretando uma economia de 13.958 GWh. Tibá et al. (2013) realizaram um estudo sobre a implantação de grande empreendimento de produção de energia elétrica no estado de Minas Gerais, indicando alguns locais que reúnem as melhores condições. Coincidentemente tais locais situam-se na região norte do estado, que possui baixo índice de desenvolvimento humano e carência de infraestrutura, e nesse caso, empreendimento de produção de energia elétrica em maior escala podem atrair indústrias e se tornarem também promotores de desenvolvimento social, de acordo com a ilustração da Figura 1.12 (termoelétricas solares).

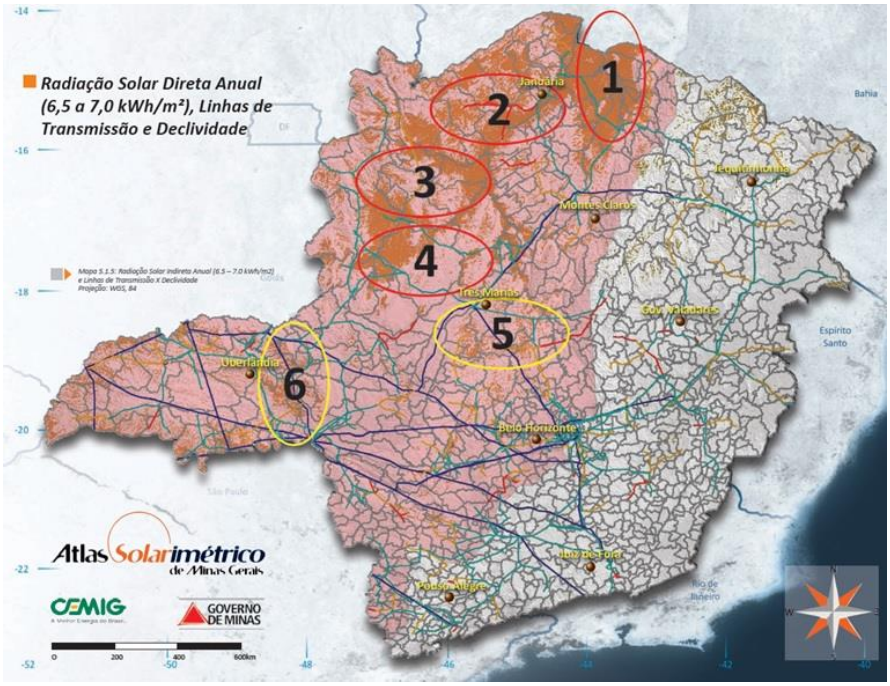


Figura 1.12 – Regiões promissoras no Estado de Minas Gerais para implantação de tecnologia termoelétrica solar (TIBA et al, 2013).

Energia da Biomassa

Considerando a Biomassa como fonte energética, o Brasil possui uma experiência de sucesso que é o uso do etanol produzido da cana de açúcar, que tem expressiva participação na matriz energética. Outros usos energéticos da biomassa também podem ser mencionados, como por exemplo: o eucalipto para a produção de carvão vegetal (com aplicação na siderurgia em substituição ao carvão mineral), o uso de biodiesel (produzido prioritariamente da soja) utilizado de forma adicionada ao diesel de petróleo.

No caso da biomassa, não existe um mapeamento único e integrado que forneça dados consolidados de potencial de utilização, principalmente devido ao fato de que são muitas as possibilidade de uso energético. Na mesma direção das possibilidades, também estão às questões a serem enfrentadas no caso de direcionamento de terras para a produção de culturas energéticas, como por exemplo: relação energia versus alimentos, disponibilidade de: área, água, fertilizantes, sementes, dentre outros. Essas questões tem significativo impacto na viabilidade econômica de empreendimentos de biomassa energética. Um uso que contorna ou posterga essas questões e que alia o uso de energia renovável e eficiência de processos é o aproveitamento de resíduos. Na Tabela 1.4 é apresentado o potencial de uso de resíduos.

Tabela 1.4 – Potencial energético de resíduos no Brasil (SILVA et al., 2014).

Resíduo	Potencial (MW)
Resíduo Sólido Urbano - Biogás	282,0
Cana-de-açúcar: vinhaça	1.200,0
Soja	3.422,0
Milho	2.406,0
Cana-de-açúcar: bagaço e torta de filtro	16.464,0
Feijão	143,0
Arroz	175,0
Trigo	228,0
Café	97,0
Cacau	7,0
Coco da baía	39,0
Castanha de caju	8,0
Aves	137,0
Bovinos	1.032,0
Suínos	122,0
Abatedouros (aves, bovinos e suínos) e graxaria	12,0
Laticínios	2,6
Resíduos Florestais	1.604,0
Total	**27.380,6**

Atualmente o país conta com 11 GW em 482 empreendimentos em operação, e que representam 31% das usinas termoelétrica instaladas no país (ANEEL, 2015a). Percebe-se que, pela quantidade, os empreendimentos energéticos associados ao uso de biomassa, encontram-se no pequeno-médio porte. Além disso, pela dispersão e distribuição geográfica ao longo do território, trata-se de uma fonte cujas tecnologias de geração estão associadas a Geração Distribuída de energia elétrica.

Energia Geotérmica

De maneira geral, as fontes renováveis apresentadas até agora, são as de maior potencial de utilização. Os potenciais: geotérmico e é apresentado na Figura 1.13.

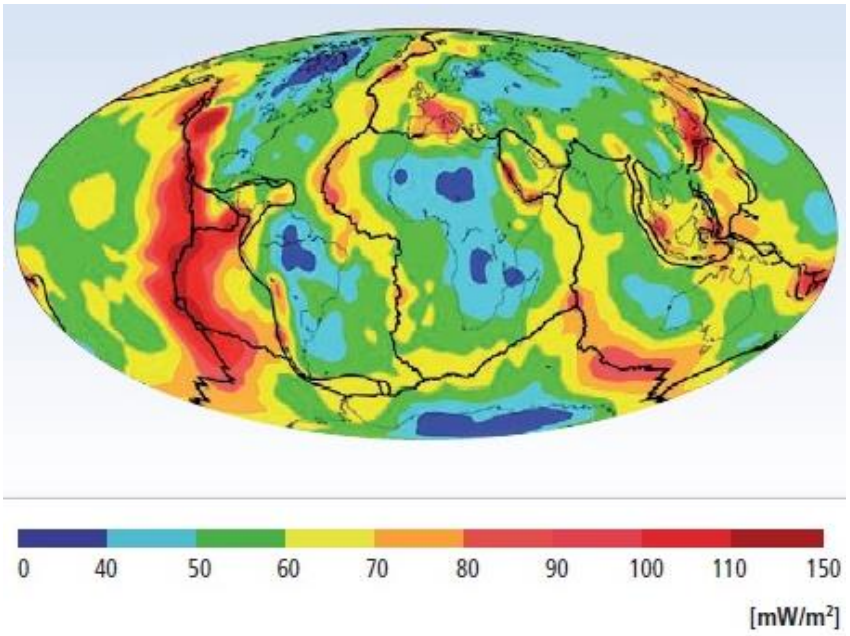
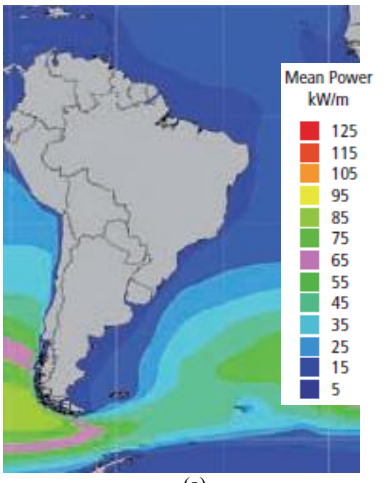


Figura 1.13 – Média mundial do fluxo de calor com destaque para as placas tectônicas (adaptado de GOLDSTEIN et al., 2011).

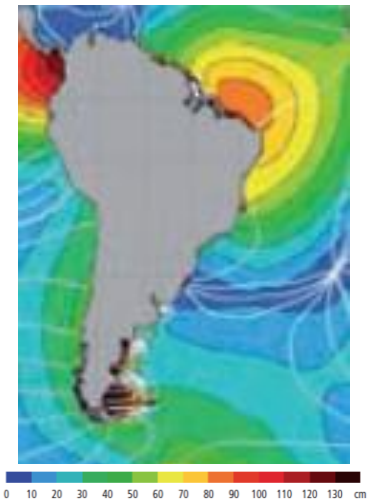
No Brasil, considerando-se a localização e a ausência de atividades tectonomagmáticas por um longo período, o país vivencia um fluxo térmico estacionário, favorável a ocorrência de fluxos termais de baixa entalpia, apropriados para fins recreativos, onde o Brasil já aproveita 250 MW_{th} (ARBOIT et al., 2013) e inadequados para a produção de eletricidade considerando os custos e as tecnologias atuais.

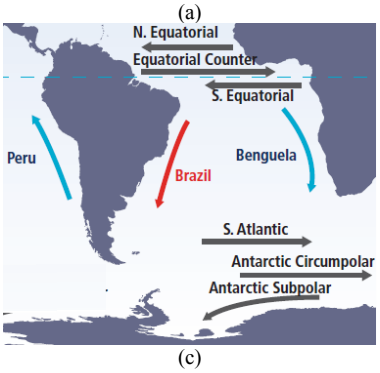
Energia Oceânica

Estefen (2012) e Fleming (2012) apresentam que o Brasil possui um potencial teórico de aproximadamente 114 GW em energia oceânica, alocados principalmente na forma de aproveitamento de ondas (regiões Nordeste, Sudeste e Sul) e marés (região norte do país). Conforme Aneel (2015b) existe um empreendimento de energia das marés com potência de 50 kW outorgado (Central Geradora Undielétrica do Porto de Pecém.- município de São Gonçalo do Amarante no estado do Ceará). Na Figura 1.14 são indicadas as melhores regiões potenciais para as diversas tecnologias aplicáveis a fonte oceânica. Recentemente, algumas das tecnologias desenvolvidas para aproveitamento oceânico têm sido estudadas em aplicações nos rios, como é o caso de turbinas de fluxo utilizadas no aproveitamento das correntes marítimas. Tal iniciativa se mostra promissora, principalmente pela expectativa da elevação do potencial hídrico e também nos benefícios ambientais decorrentes.



(a)





(c)

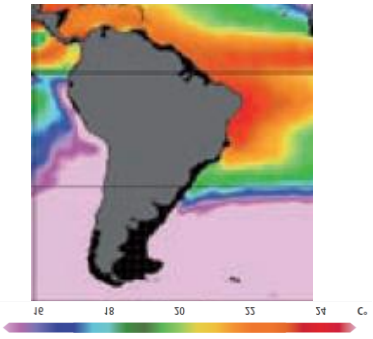


Figura 1.14 – Mapeamento das possibilidades de energia oceânica no Brasil.: (a) Ondas; (b) Marés; (c) Correntes marítimas; (d) Gradiente Térmico. Adaptado de Lewis e Estefen (2011).

Eficiência Energética

Tão importante para a questão energética e ambiental quanto a energia de origem renovável é a eficiência energética. MME (2010a), através do Plano Nacional de Eficiência Energética - PNEf indicava que o espaço para ações de eficiência e conservação de energia poderiam contribuir em 5% de economia na matriz de energia. Já a EPE (2015), através do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDE2024 corrobora com essa expectativa para o período do documento até 2024.

A Figura 1.15 apresenta os fluxos de energia no mundo em 2005. Apesar de que esse gráfico já possua alguns anos, trata-se de uma ilustração representativa do que ainda acontece em termos de perdas de energia, uma vez que uma parcela significativa de energia não realiza trabalho útil e é perdida nos processos de transformação e distribuição. Já a Figura 1.16 mostra uma maior estratificação nos processos evidenciando as perdas nos sistemas energéticos e possibilitando algumas reflexões interessantes. Na Figura 1.17 é mostrada uma ilustração representativa para o Brasil, desenhada pelo INEE.

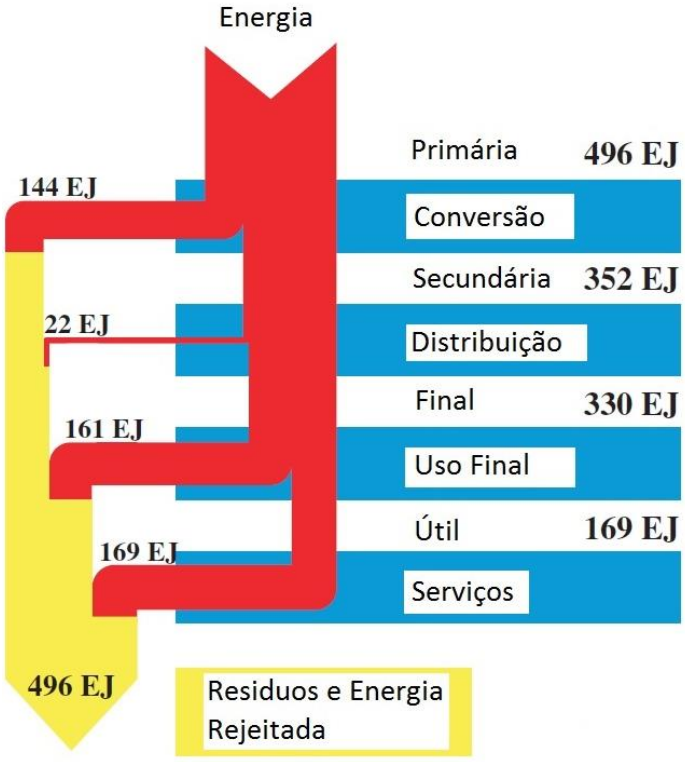


Figura 1.15 – Fluxo de energia no Mundo para 2005 (Adaptado de GRUBLER et al., 2012).

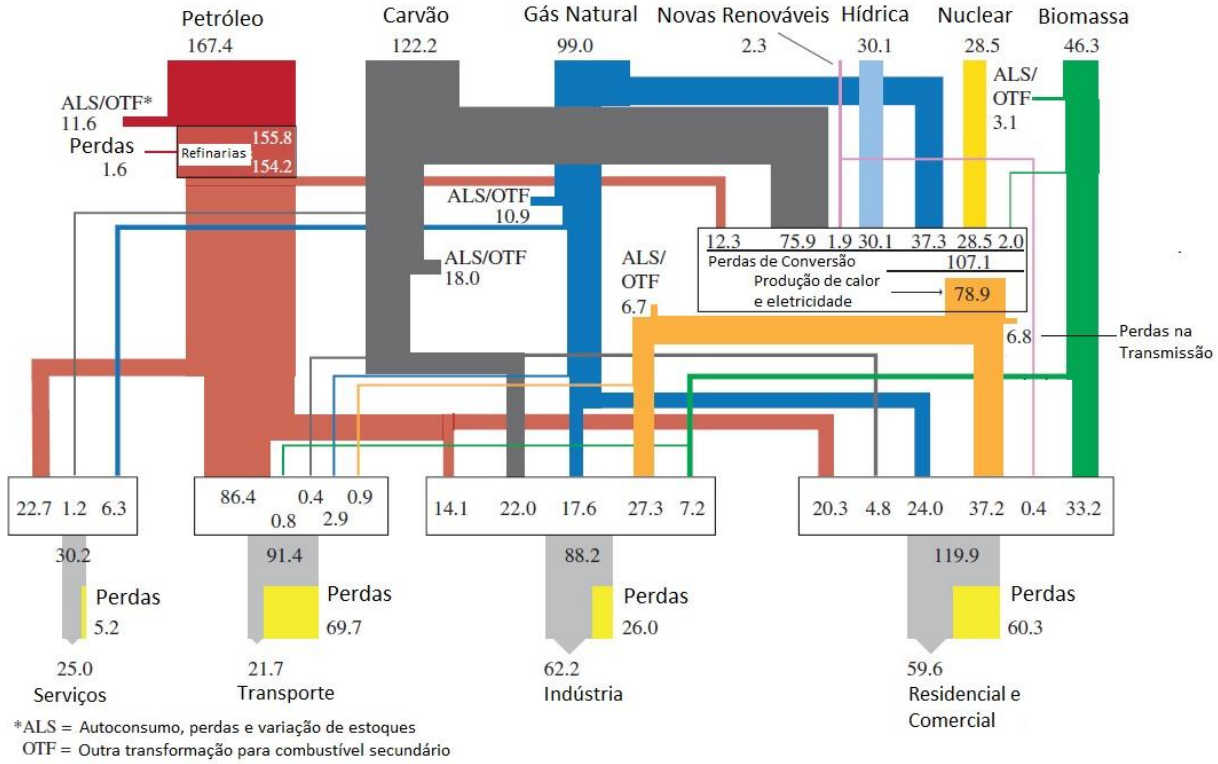


Figura 1.16 – Fluxo global de energia primária (Adaptado de GRUBLER et al., 2012).

As maiores perdas se constituem em oportunidades para desenvolvimento e implantação de tecnologias:

- No setor de serviços, a substituição de lâmpadas comuns por lâmpadas mais eficientes, como por exemplo, que utilizam a tecnologia de LED (diodo emissor de luz);
- O setor de transportes se configura como a maior oportunidade para eficiência energética. Isso se deve a utilização de veículos de combustão interna, cujo balanço energético da exploração do petróleo até a energia mecânica útil, atinge valores da ordem de 15%. Nesse caso, uma tecnologia mais eficiente é a de veículos elétricos. Nesse caso, o combustível seria utilizado em grandes usinas termoelétricas, com elevada eficiência e a posteriormente carregadas as baterias que ao movimentarem eficientes motores elétricos poderiam ampliar a eficiência no uso do combustível para a ordem de 40%. Isso implica que seria possível mais do que dobrar a frota de veículo gastando o mesmo insumo primário. Mackay (2009) indica que o carro do futuro será elétrico, e de que as potencialidades em eficiência energética residem ainda em veículos estreitos (redução de atrito) e compridos (capazes de transportar muitas pessoas ou carga);
- Já o setor industrial diversas iniciativas surgem como possibilidades de eficiência. Além da substituição de equipamentos por outros mais avançados e eficientes, que atuam nas perdas dos processos, novas formas de aproveitamento e novas rotas tecnológicas. Alguns exemplos são: as biorrefinarias associadas ao setor de papel e celulose, os biocombustíveis de 2ª geração (etanol celulósico) e a cogeração no setor sucroenergético, o aproveitamento dos gases residuais da carbonização da madeira e também dos resíduos florestais no setor florestal, tecnologias de cogeração e trigeração e também modernização das cadeias produtivas;
- O aquecimento solar e os equipamentos eficientes são as opções para o setor residencial.

A Figura 1.17 ilustra a inserção destas tecnologias na matriz energética brasileira dada pelo diagrama de Sankey.

Não houve pretensão de esgotar as possibilidades e iniciativas nessa reflexão, mas apenas contextualizar a aderência de algumas tecnologias aos setores onde se aplicam. Outra questão que precisa ser mencionada é de que as perdas energéticas fazem parte inerente da termodinâmica dos processos de transformação. Isso implica que tais perdas podem ser reduzidas, mas de forma alguma eliminadas, pois a natureza das transformações é a degradação da energia, que convertida em calor e dissipada não é recuperável.

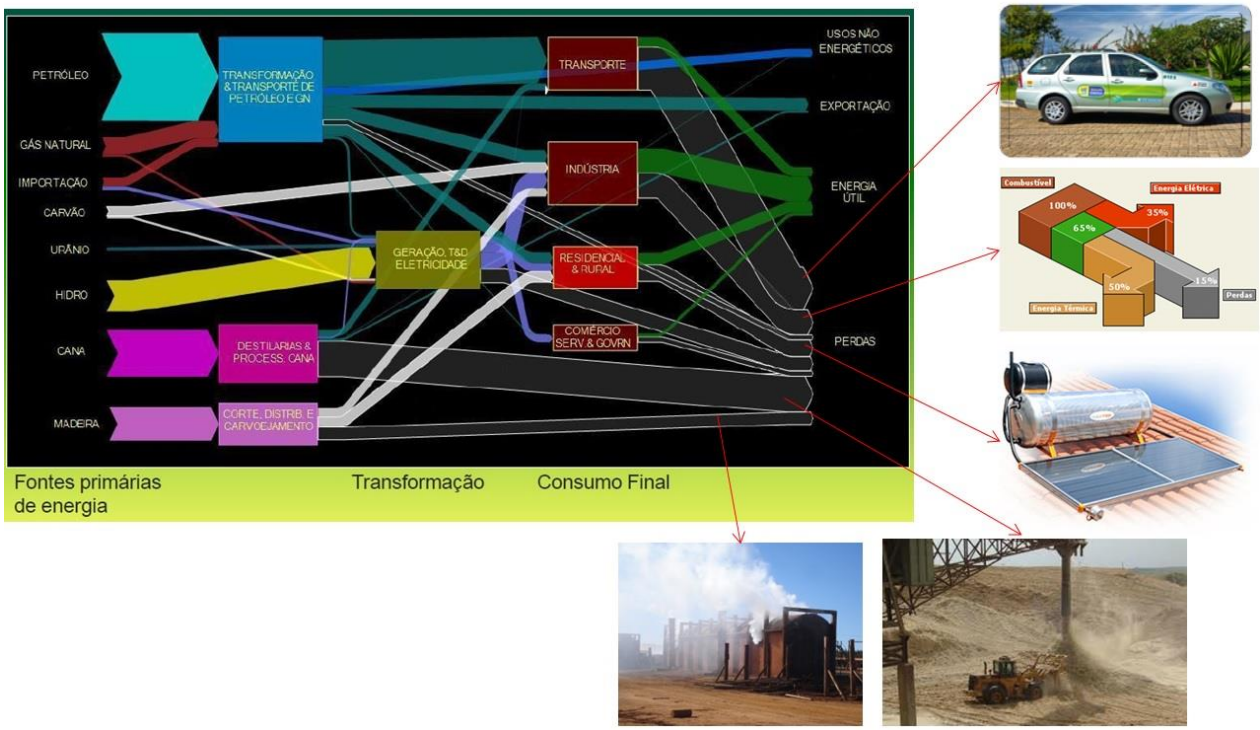


Figura 1.17 – Diagrama de Sankey para a Matriz Energética Brasileira e opções para incremento da eficiência energética (Adaptado de HOLLANDA e ERBER, 2010).

Comentários sobre Fontes Não-Renováveis e Tecnologias Emergentes

Para que o cenário energético brasileiro fique completo, se faz necessário uma menção às fontes fósseis e a nuclear, que se encontra a seguir:

- Petróleo: o país possui reservas significativas que o colocam em 9º lugar como produtor mundial dessa fonte (EIA, 2015). Entretanto o uso prioritário para esse energético é no setor de transportes seguido do uso não energético na forma de insumos da indústria química (EPE, 2015). No setor elétrico, conforme indicou a Figura 1.6 o petróleo representa apenas 6,8% da matriz elétrica brasileira. Isso decorre dos impactos ambientais das emissões de gases de efeito estufa e também do elevado custo da energia produzida;

- Xisto betuminoso: as expectativas de reservas nacionais deste óleo não convencional atingem valores de 5,3 bilhões de barris (EIA, 2015a). Apenas a título comparativo, nos Estados Unidos a expectativa de reservas é 14 vezes maior. Contudo, considerando-se o contexto de eletricidade ainda não há elementos para reflexão nesse contexto para esse energético;

- Gás natural: o Brasil ocupa apenas o 33º lugar na produção deste energético (EIA, 2015b), sendo o 36º em reservas provadas. No horizonte de planejamento do PDE 2024 (EPE, 2015) é prevista uma ampliação de 92% no uso desta fonte, na implantação de usinas termoelétricas;

- Gás de xisto: a expectativa de reservas atinge 244,9 trilhões de pés cúbicos (EIA, 2015b) e representando 3,2% da expectativa global dessas reservas. Esse energético representou a revolução da matriz energética americana, que é uma das maiores do mundo. No momento, não há elementos para discutir esse energético sob o ponto de vista do setor elétrico;

- Carvão Mineral: EPE (2015) prevê a ampliação do uso de carvão mineral, mantendo-se a sua participação proporcional em 4,9% da matriz energética no horizonte de 2024. As reservas brasileiras são compostas essencialmente por carvão do tipo linhito e subetuminoso, e com localização restrita ao sul do país, e com características pobres do ponto de vista energético. Em função disto, as usinas deste energético, de maneira geral, estão localizadas de forma a permitir o uso de carvão importado. Já se considerando a matriz elétrica, não é prevista nenhuma ampliação de uso nesse horizonte. CGEE (2012) expõe que o Brasil possui a 14ª reserva mundial desse energético sendo apenas o 26º produtor. Além disso, as reservas de carvão nacional representam energeticamente 3,5 vezes a energia contida nos recursos petrolíferos nacionais. Entretanto, além do estigma de uma fonte suja, o carvão nacional possui baixa qualidade e elevado teor de cinzas. No sentido de buscar oportunidade e potencialidades nacionais, foi então desenvolvido um *Roadmap* Tecnológico no sentido de se identificar e desenvolver ações para o desenvolvimento do carvão mineral nos segmentos de carboquímica, siderurgia e eletricidade, considerando o horizonte de ações a aplicação até 2035. A grande questão é que o país pode nas pres-

cindir desse importante energético para alavancar o seu desenvolvimento, sendo necessário capacitar profissionais e a indústria, inclusive em ações educacionais (no sentido de apresentar a sociedade os benefícios do uso do carvão e também na redução do preconceito, principalmente no incentivo do desenvolvimento tecnológico que possibilite a redução de impactos decorrentes dessa fonte) e tecnológicas (captura e sequestro de carbono - CCS);

- Nuclear: atualmente o Brasil possui 2 usinas em operação perfazendo uma capacidade instalada de 1.990 MW e encontra-se em construção mais uma usina com capacidade de 1.405 MW com previsão de operação em 2019 (ELETRONUCLEAR, 2013; EPE, 2015), sendo que todas elas possuem reatores do tipo PWR (*Pressure Water Reactor*). De acordo com Ibram (2015) o Brasil é o 12º maior produtor de urânio, possuindo a 7ª maior reserva mundial. Os desenvolvimentos da indústria nuclear sofre forte resistência principalmente devido a receios de natureza geopolítica e bélica. Entretanto, por outro lado, a visão de futuro deste setor aponta para tecnologias de geração e conversão energética onde o fornecimento de energia não mais seria um problema, pelo uso de reatores de fusão nuclear e a possibilidade de que qualquer resíduo radioativo se torne também combustível. A maioria dos reatores em operação atualmente é de segunda geração. Os reatores em construção já contemplam tecnologias de 3ª geração, que buscam ser mais eficientes na produção de eletricidade. A geração posterior incorpora ainda a estratégia de projeto intrinsicamente segura, que torna o projeto robusto e a operação com menores riscos e também tecnologias que utilizam como combustível o Tório (WNA, 2015) onde o Brasil possui a segunda reserva mundial, atrás apenas da Índia .Outra possibilidade é a obtenção de hidrogênio produzido na forma de subproduto e em larga escala decorrente da termólise da água. Mais uma vez reforça-se a ideia que, do ponto de vista tecnológico, a pesquisa deve continuar de forma a oferecer soluções para a sociedade. No caso brasileiro, a decisão pela implantação de energia nuclear é de competência exclusiva do governo federal. No Plano Nacional de Energia (2030) editado pela Empresa de Pesquisa Energética em 2007 (EPE, 2007) previa-se dentro do horizonte do documento indicou que o país precisaria expandir a oferta de energia nuclear entre 4.000 MW e 8.000 MW entre os cenários de referência e alto respectivamente. Ou seja, entre 4 e 8 novas usinas. Diante deste planejamento, a Eletrobras-Eletronuclear iniciou os trabalhos para a seleção de locais candidatos para abrigar essas usinas. Em eventos do setor nuclear no Brasil já foi inclusive apresentado esse mapeamento. Entretanto, não houve ainda nenhuma ação no sentido de implantação. Considerando os planos decenais, o documento em sua última versão – PDE2024, contemplando o horizonte até o ano de 2024 ainda não prevê nenhum empreendimento desta natureza. No momento, o plano nacional de energia – PNE encontra-se em desenvolvimento, buscando um planejamento de longo prazo que atingiria ate o ano de 2050. Existe expectativa de que esse plano traga diretrizes mais claras quanto a evolução do setor energético e nuclear no Brasil.

Sob o aspecto de tecnologias emergentes, duas delas merecem destaque:

- Geração Distribuída (GD): principalmente devido aos valores das tarifas de energia elétrica, a significativa redução nos preços da energia fotovoltaica e também ao ambiente regulatório favorável (REN 482/2012; REN 687/2015-ANEEL), há a expectativa de que o país vivencie nos próximos anos uma implantação significativa desta fonte. Segundo Aneel (2014) estima-se que até 2024, entre 100.000 e 600.000 unidades consumidoras implantes sistemas solares fotovoltaicos de micro geração em vários cenários possíveis, representando entre 30-800 MW de potência instalada. No setor comercial os números estão entre 28.000 e 82.000 unidades consumidoras, podendo representar entre 286-822 MW. Tal inserção de microgeração pode ter um impacto entre 0,30-2,30% (para a Cemig) na receita.
- *Smart Grid* (SG): De acordo com CGEE (2012a)

> *"As Redes Elétricas Inteligentes podem ser compreendidas como a rede elétrica que utiliza tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final. A implementação da REI possibilita uma gama de novos serviços, abrindo a possibilidade de novos mercados. Desta forma, a REI se apresenta como uma das fortes tendências de modernização do sistema elétrico em vários países. De forma geral, a melhoria de qualidade do serviço de energia e a redução de perdas está entreos motivadores principais do Brasil para investir na REI".*

A expansão da microgeração e da geração distribuída pode se constituir em um vetor ou um gatilho para a implantação em larga escala das redes inteligentes, até mesmo pelas necessidades de controle e segurança do sistema com geração distribuída. As taxas de crescimento anual da capacidade instalada no Brasil necessitarão de considerar todas as fontes e/ou processos de transformação disponíveis e economicamente competitivos.

De maneira geral, a base do sistema, para expansão em larga escala necessariamente continuará sendo de fontes hídrica ou térmica. De maneira geral, as fontes renováveis como: solar, eólica e biomassa, têm limitações de dimensão (eólica com máquinas comerciais na faixa de 2 MW, solar com painéis de 240 W (pico) e térmicas a biomassa normalmente na faixa de 30 MW por questões logísticas) e disponibilidade, se constituindo, de maneira importante também, em formas complementares e de expansão marginal. A constituição do sistema hidrotérmico brasileiro ainda minimiza a utilização de sistema de armazenamento, uma vez que o uso de fontes renováveis alternativas significar uma economia de água nos reservatórios das usinas hidroelétricas. Cabe ressaltar ainda que os sistemas de armazenamento (baterias, volantes de inercia, ar comprimido) normalmente acrescentam significativamente em custos nos sistema energéticos em que eles estão envolvidos.

Desta forma é possível verificar que mais do que alternativas, no sentido de opção entre forma A ou B (no sentido particular ou individual), percebe-se as Alternativas Energéticas como todo o conjunto de opções (no sentido amplo, no contexto de Estados e empresas) e que neste caso, pode ir além simplesmente das fontes alternativas, passando por opções de processos e usos finais da energia, conforme expressa a Figura 1.18. Forma alternativas de energia encontram-se normalmente associadas ao pequeno porte, que por sua vez estão no contexto da geração distribuída, que trás a implantação do S*mart Grid*, que tem como pilar também o veículo elétrico, que se justifica no sistema elétrico pela característica de eficiência energética. Essa por sua vez pode ser implantada em sistemas renováveis e não renováveis, construindo e constituindo-se assim a matriz energética sustentável do futuro.

Figura 1.18 – Alternativas Energéticas na forma de todas as opções energéticas disponíveis. Cemig (2012).

É importante notar que o consumo de energia é o motor do desenvolvimento econômico com reflexos no desenvolvimento social. Consome-se energia para produzir bens e serviços, que serão acessados pelas pessoas na expectativa de promover ou melhorar a qualidade de vida. A sociedade do futuro, cada vez mais conectada através de dispositivos de telecomunicação e dependentes de sistemas de informação, carrega também grandes possibilidades quanto a novas funcionalidades que a tecnologia pode oferecer. Sensoriamento, instrumentação, medição, computação, inteligência artificial e dispositivos massivamente conectados e controlados por sistemas de energia e de telecomunicação. Tudo isso, abre novas possibilidades de se pensar a infraestrutura e funcionamento das cidades, buscando novamente interferir na qualidade de vida dos cidadãos do futuro. Uma sociedade inteligente necessitará de uma nova relação com a energia. Uma cartilha sobre a conexão entre GD, SG e *Smart City* encontra-se no Apêndice.

1.4 Consolidação sobre o Potencial de Energia Renovável no Brasil

A Figura 1.19 consolida as informações levantadas e discutidas nessa seção.

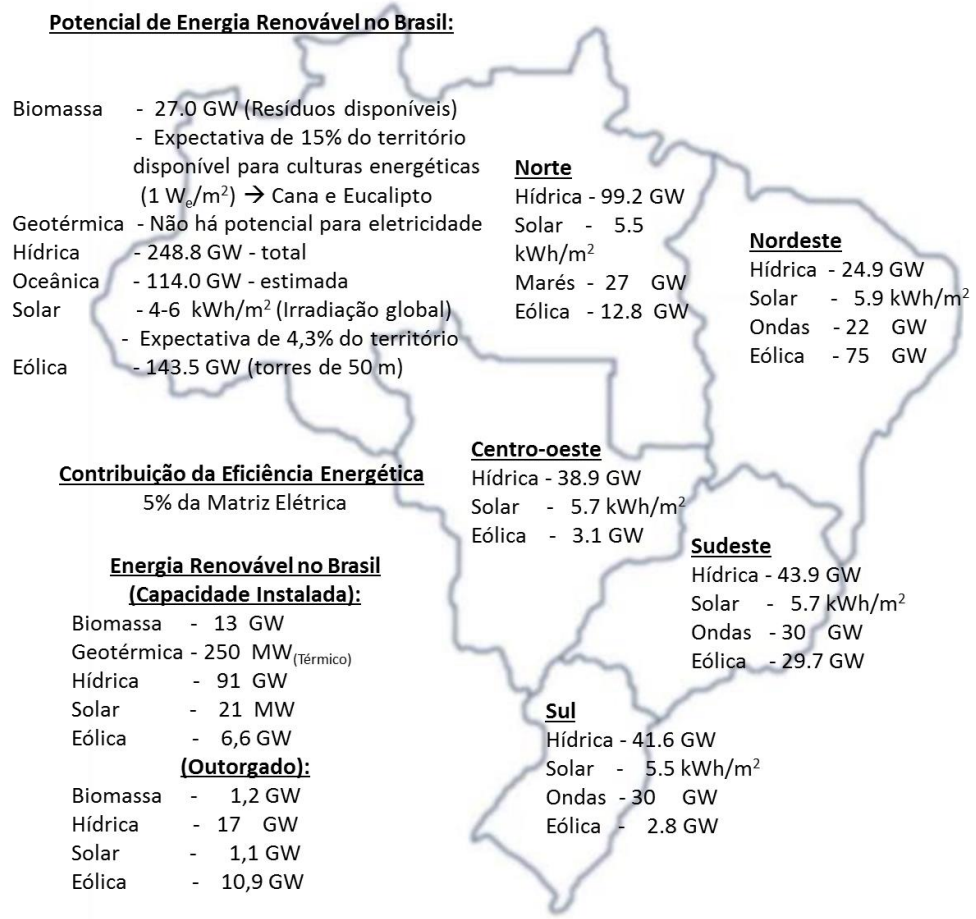


Figura 1.19 – Consolidação de informações sobre energia renovável no Brasil. (Elaboração: o autor)

No caso de biomassa e energia solar, o potencial depende essencialmente de disponibilidade de área no território. Para a ilustração foi considerada a disponibilidade do território brasileiro, sendo 11% de área não explorada disponível para a agricultura e 4,3% para outros usos (SEAPA, 2015). Evidentemente, trata-se de uma primeira aproximação, uma vez que na medida em que este território é ocupado, pode haver deslocamento de usos da terra. No caso da energia solar, a sua aplicação pode ocorrer concomitante com outros usos.

A Figura 1.20 mostra um recorte para o potencial energético no estado de Minas Gerais.

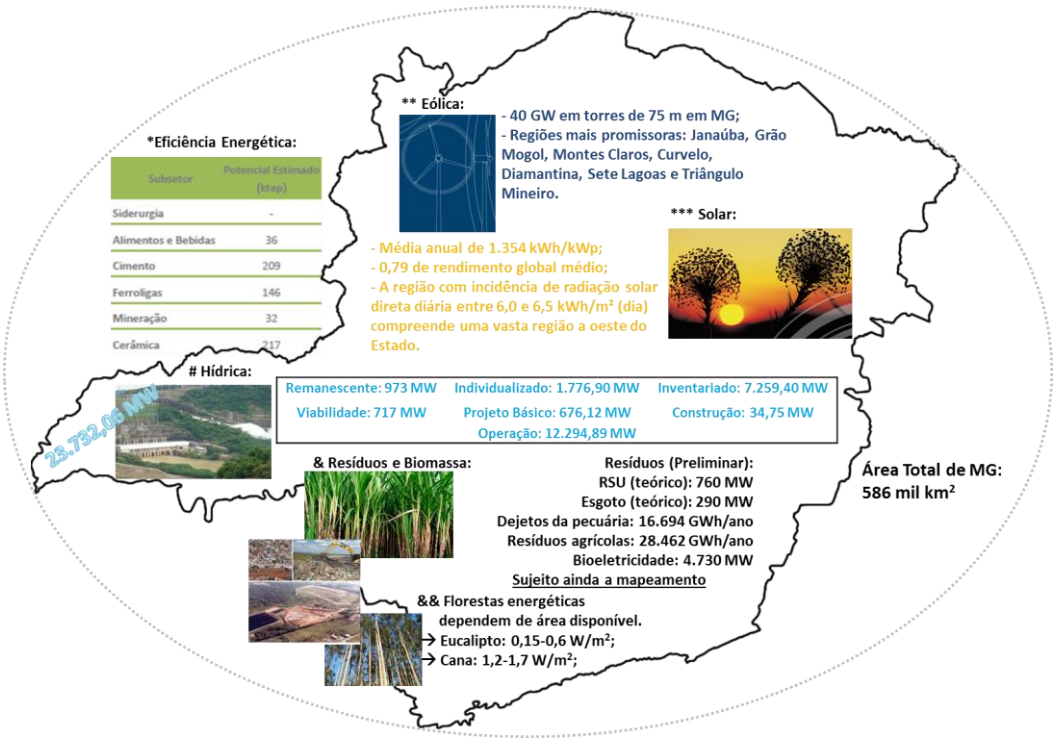


Figura 1.20 – Consolidação de informações sobre energia renovável em Minas Gerais.

(Elaboração: o autor, baseado em: *FEAM (2014); **AMARANTE et al. (2010); ***TIBÁ et al. (2013); # ELETROBRÁS (2015a); & FEAM (2014a) e FEAM (2014b); && MACKAY (2010)).

1.5 Desafios para Fontes Renováveis no Brasil

A seguir serão listados alguns dos principais desafios para as fontes renováveis:

Biomassa:

- Leilões por fonte ou submercado;
- Reconhecimento das externalidades na precificação nos leilões;
- Diminuição dos custos associados ao projeto: conexão, encargos/tributos, financiamento;
- Contínuo aprimoramento regulatório associado a fonte;
- Redução de custos de implantação, operação, manutenção e financiamento;
- Ganhos de eficiência e produtividade;

- Desenvolvimento e difusão de novas tecnologias;

Eólica:

- Logística e transporte, principalmente considerando-se o aproveitamento de potenciais no interior do país;
- Sustentabilidade da cadeia produtiva;
- Adensamento da cadeia;
- Competitividade nos leilões com a consequente queda de preços;
- Custo de implantação e tempo de retorno de investimento;
- Necessidade de capacitação e investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (soluções para implantação de eólica em montanhas e *offshore* com águas profundas).

Geotérmica:

- Acompanhar o desenvolvimento tecnológico e aplica-lo no Brasil, se assim for possível;
- Explorar os potenciais térmicos, ampliando a sua utilização, principalmente no aspecto do turismo.

Hídrica:

- Maior complexidade na tramitação de estudos, projetos e licenciamento ambiental fazem com que o ciclo de desenvolvimento seja muito longo (> 10 anos) e implicando em maiores custos;
- Assimetria nos incentivos fiscais, principalmente com a fonte eólica, que possui isenção de alguns impostos para equipamentos;
- Dificuldade crescente em relação a construção de grandes usinas com reservatório;
- Manutenção da cadeia produtiva;
- Comportamento do mercado livre;
- Financiamento do setor;
- Custos elevados da construção civil no Brasil, observado nos últimos anos, devido a competição com outros projetos de infraestrutura;
- O preço em R$/MWh não reflete os benefícios ambientais e globais proporcionados pela fonte;
- Leilões por fontes e regionalizados com reconhecimentos no preço teto das externalidades positivas das PCHs;
- Lidar com as consequências das redução na capacidade de armazenamento e regularização;

Oceânica:

- Para o caso da energia oceânica, os custos ainda se mostram proibitivos para considerar a sua implantação. Como foi visto na seção anterior, ainda existe um grande potencial renovável a ser explorado em terra antes de buscar a energia dos oceanos. As tecnologias oceânicas se mostram naturalmente mais caras e complexas e deverão se tornar competitivas na medida da evolução tecnológica e também do esgotamento das demais fontes. Deve-se incentivar a

pesquisa, conhecer melhor as tecnologias, desenvolvendo-as para as condições nacionais, tentando buscar oportunidades para diferenciais competitivos. Uma primeira iniciativa nesse sentido e que é inexistente até o momento é um mapeamento completo do litoral e região oceânica no Brasil, de forma a se aprofundar os estudos existentes, formar mão de obra especializadas e massa crítica para desenvolver o tema, assim como estudos prospectivos e focados na viabilidade econômica das tecnologias oceânicas. Ressalta-se que algumas tecnologias também podem ser implantadas nos rios, aproveitando o fluxo, por exemplo, abrindo um amplo mercado e ampliando o potencial de energia hídrica.

Solar:

- Estabelecer linhas/programas de financiamento a um custo adequado;
- -Eliminar/adequar as barreiras tributárias (para reestabelecer o sentido de net-metering);
- Estabelecer competitividade da fonte para projetos de geração distribuída;
- Induzir/acelerar curva de aprendizagem da tecnologia fotovoltaica no Brasil;
- Estabelecer curva de demanda necessária para desenvolver a cadeia produtiva local;
- A cadeia produtiva e de valor do sistema fotovoltaico é incompleta em vários dos seus elos no Brasil;
- Necessidade de programas de financiamento e incentivo à micro e mini geração distribuída;
- Desoneração de ICMS, PIS e COFINS sobre a geração distribuída;
- Leilão específico ou por fonte: viabilização de demanda mínima para o desenvolvimento da cadeia;
- Políticas fiscais adequadas: redução do custo de investimento (produção e aquisição);
- Modelos de comercialização atraentes: redução de incertezas;
- Normas, padrões e regulação: ambiente seguro e claro para o investimento e para o desenvolvimento do segmento de instalação em níveis regionais;
- Qualificação de recursos humanos;
- Aumento da produção industrial de componentes e desenvolvimento tecnológico.

1.6 Considerações Finais

A matriz energética brasileira é renovável e assim continuará pelo menos para o horizonte dos próximos 10 anos. As fontes hídrica e eólica já se consagraram. Os grandes vetores de crescimento encontram-se associados à biomassa (essencialmente residual) e solar. O crescimento em energia solar tem assumido um protagonismo no momento atual, principalmente pela competitividade frente às tarifas das concessionárias e também aos incentivos para a geração distribuída. A característica renovável nacional se mantem elevada comparando-se a média mundial, Além das fontes renováveis, o país ainda conta com potenciais em energia fóssil e nuclear. As ações de eficiência e conservação de energia podem contribuir na fra-

ção de 5% da matriz. Além do potencial das fontes, a tecnologia e a inovação tecnológica possuem importantes papeis na construção do sistema energético futuro. De maneira geral, aspectos particulares associados a cada uma das fontes, juntamente com a complexidade regulatória e institucional no Brasil se constituem dos grandes desafios, refletidos na necessidade e dependência de melhorias na regulação que possibilitem o desenvolvimento e implantação dos potenciais de energia renovável.

Capítulo 2

Capítulo 2: Projeto de Pesquisa em Fontes Alternativas Realizados pela Cemig

2.1 Introdução

Este Capítulo é dedicado a descrição de resultados de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) realizados no âmbito do Programa regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no tema de Fontes Alternativas de Geração de Energia Elétrica (FA), conforme descrito em ANEEL (2015). Além disso, são descritos apenas os projetos que foram executados pela Gerência de Alternativas Energéticas (TE/AE), realizando uma consolidação setorial.

A Figura 2.1 ilustra a conexão dos projetos em torno do objetivo comum, que é a produção ou eficiência em termos de energia elétrica, cujo foco trata-se essencialmente da diretriz de projeto de P&D no âmbito da ANEEL. São listados os projetos: concluídos, em andamento, abortados (cancelados durante a execução, com projeto já contratado) e cancelados (cancelados durante a negociação, onde o projeto ainda não havia sido contratado). Tal abordagem busca indicar um painel mais completo, uma vez que mesmo os projetos cancelados exigiram um esforço no sentido de se levantar dados e informações que possibilitasse o desenvolvimento do tema. Esse painel também indica as tecnologias que se mostram mais promissoras para desenvolvimento de oportunidade de negócios ou de aplicação aos processos da concessionária no sentido de promover um aumento da eficiência energética ou operacional.

Os números indicados referem-se ao número do projeto na Cemig D ou GT conforme será melhor descrito e detalhado ao longo deste capítulo, explorando as informações dos projetos.

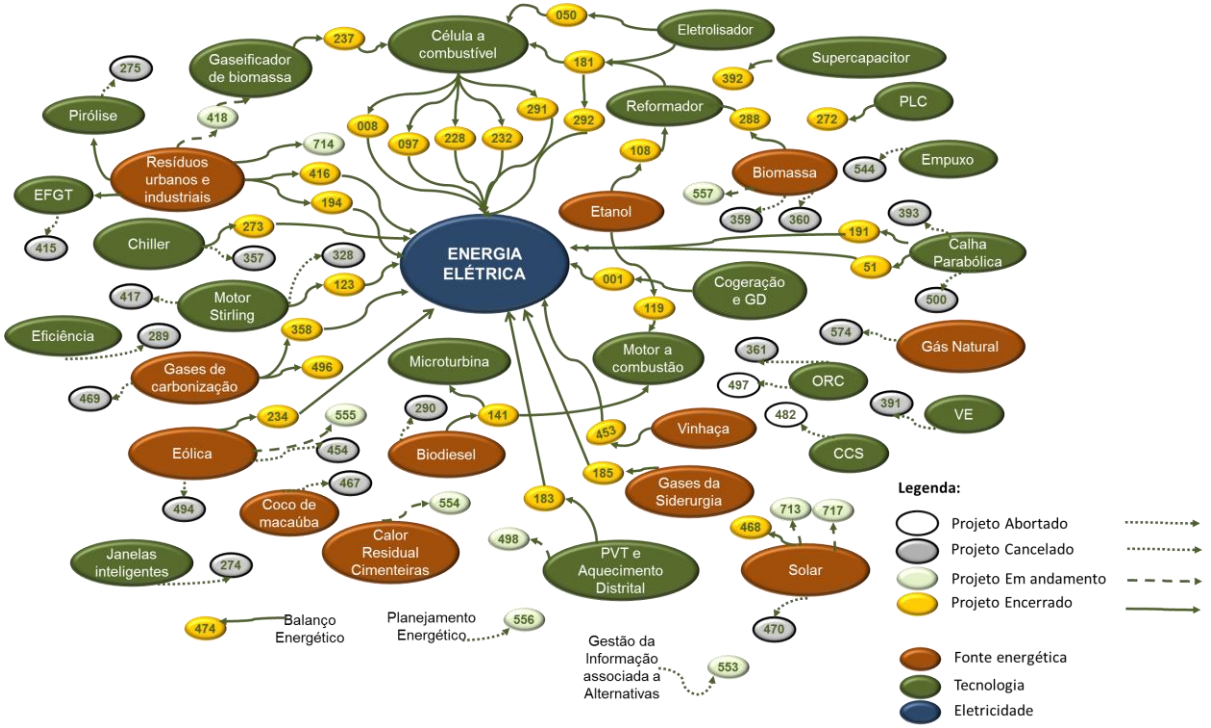


Figura 2.1 – Projetos da Cemig no tema FA e sua relação com a eletricidade.

2.2 Projetos de P&D no âmbito do Programa ANEEL

O atual formato de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) no setor elétrico brasileiro surgiu com a Lei 9.991/1999. Na Tabela 2.1 é apresentada a distribuição de recursos associados a esta lei, tendo como base a Receita Operacional Líquida das empresas de energia nos segmentos de geração (G), transmissão (T) e distribuição de energia (D). É apresentado um destaque para a atuação configuração.

Tabela 2.1 – Configuração dos recursos da Lei 9.991/1999 (Adaptado de ANEEL, 2016).

Segmento	**Lei 9.991/2000**			**MP 144/2003 (alterou artigos da 9.991/2000**			
	Vigência: 24/07/2000 a 11/12/2003			**Vigência: 11/12/2003 a 14/03/2004**			
	P&D	**PEE**	**FNDCT**	**P&D**	**PEE**	**FNDCT**	**MME**
D	0,25	0,50	0,25	0,125	0,50	0,25	0,125
G	0,50		0,50	0,25		0,50	0,25
T	0,50		0,50	0,25		0,50	0,25

Segmento	**Lei 10.848/2004 (alterou artigos da lei 9.991/2000)**							
	Vigência: 15/03/2004 a 31/12/2005				**A partir de 1°/01/2006**			
	P&D	**PEE**	**FNDCT**	**MME**	**P&D**	**PEE**	**FNDCT**	**MME**
D	0,20	0,50	0,20	0,10	0,30	0,25	0,30	0,15
G	0,40		0,40	0,20	0,40		0,40	0,20
T	0,40		0,40	0,20	0,40		0,40	0,20

Segmento	**Lei 11.465/2007 (alterou incisos I e III do art. 1º da 9.991/2000)**							
	Vigência: 28/03/2007 a 31/12/2010				**A partir de 1º/01/2011**			
	P&D	**PEE**	**FNDCT**	**MME**	**P&D**	**PEE**	**FNDCT**	**MME**
D	0,20	0,50	0,20	0,10	0,30	0,25	0,30	0,15
G	0,40		0,40	0,20	0,40		0,40	0,20
T	0,40		0,40	0,20	0,40		0,40	0,20

Segmento	**Lei 12.212/2010 (alterou incisos I e III do art. 1º da 9.991/2000)**							
	Vigência: 21/01/2010 a 31/12/2015				**A partir de 1º/01/2016**			
	P&D	**PEE**	**FNDCT**	**MME**	***P&D***	***PEE***	***FNDCT***	***MME***
D	0,20	0,50	0,20	0,10	***0,30***	***0,25***	***0,30***	***0,15***
G	0,40		0,40	0,20	***0,40***		***0,40***	***0,20***
T	0,40		0,40	0,20	***0,40***		***0,40***	***0,20***

Evidentemente, cada empresa realizava suas pesquisas ou estudos próprios mesmo antes desta lei. Um exemplo disso é a Cemig, que ainda na década de 1990 construiu o primeiro parque eólico-elétrico conectado ao sistema elétrico brasileiro, quase 20 anos antes da penetração em larga escala desta tecnologia no contexto energético nacional. Já nos anos 2000, um dos focos de estudo esteve associado a

energia do biogás, no aterro sanitário de Belo Horizonte. Tal pesquisa está na origem da subsidiária de gás da Cemig (Gasmig) e também muito antes desse assunto se tornar objeto de leis e planos. Outros exemplos ainda podem ser citados: fazenda energética, gaseificação de carvão e mesmo as futuristas tecnologias de produção de hidrogênio.

De qualquer maneira, com a criação do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) da ANEEL, alavancou a pesquisa científica no Brasil e os seus resultados hoje indicam a sua consolidação. Contudo, há de se observar que apesar dos investimentos e esforço, o desenvolvimento tecnológico brasileiro ainda não consegui ultrapassar as barreiras, uma vez que os investimento realizados ainda não puderam se reverter em patentes, o que em última análise, representaria a materialização da inovação e competitividade no setor elétrico. Isso se torna evidente ao se participar do principal evento sobre P&D do setor elétrico brasileiro, o CITENEL (Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica). Esse evento é bianual e discute exclusivamente resultados dos projetos realizados dentro do Programa de P&D regulado pela ANEEL.

2.3 Projetos Concluídos

A seguir serão apresentados os projetos concluídos e juntamente com outras informações necessárias ao entendimento do contexto de sua realização, bem como seus principais resultados. As referências indicadas são artigos publicados sobre os projetos, principalmente no CITENEL. Associado ao presente livro, será disponibilizada também a coletânea de artigos que suportam as referências indicadas. Para todos os projeto concluídos considera-se que foi elaborado um Relatório do Projeto.

P&D 001

Referência: Carvalho et al. (2007)

Título: Avaliação experimental de sistemas de ciclo combinado com microturbinas a gás, motores Stirling e células a combustível para geração de eletricidade.

Instituições envolvidas: Núcleo de Excelência em Sistemas Térmicos e Geração Distribuída (NEST) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Coordenador do Projeto: Electo Eduardo da Silva Lora (NEST/UNIFEI).

Gerente do Projeto (Cemig): André Martins Carvalho.

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

A expectativa quanto a disponibilidade de tecnologias associadas a geração local, dispersa e distribuída no início dos anos 2000 era muito grande. Tal disponibilidade poderia acarretar uma corrida por autoprodução e produção independente, principalmente se a legislação promovesse o incentivo para tal implantação. Isso por um lado poderia representar uma ameaça às concessionárias de energia. Por outro lado, a geração distribuída poderia contribuir com a expansão do sistema elétrico, com a eficiência energética (pela redução nas perdas do sistema de geração,

transmissão e distribuição) e também por ganhos ambientais. São muitas as tecnologias de GD, mas nenhuma delas fabricadas no Brasil ou com posicionamento no mercado nacional consolidado.

Problema a ser resolvido:

Investigar a fundo as tecnologias de geração distribuída, de forma a se buscar potencializar os seus benefícios para a concessionária, ao mesmo tempo em que se estudavam novos negócios em energia.

Duração: 1999-2006

Objetivos:

- Determinar o desempenho de microturbinas a gás de 30 kWe utilizando biomassa gaseificada, diesel e gás natural como combustível;
- Determinar o desempenho de uma célula a combustível de 50 kWe utilizando gás natural como combustível e analisar as possibilidades com outros combustíveis gasosos;
- Determinar o desempenho de microturbinas a gás de 30 kWe utilizando os gases de exaustão de uma célula combustível usando gás natural como combustível;
- Determinar o desempenho de um motor Stirling utilizando biomassa como combustível;
- Avaliar o desempenho destes sistemas trabalhando em ciclo combinado.

Metodologia:

- Determinado o desempenho de microturbinas a gás usando gás natural e óleo diesel;
- Realizada também a modelagem matemática de uma microturbina utilizando técnicas de identificação de sistemas;
- Testes preliminares da microturbina com biomassa gaseificada;
- Funcionamento de microturbina com gás de biomassa;
- Feio o acoplamento físico da microturbina com o chiller de absorção;
- Projetado e construído um gaseficador de biomassa com potência térmica de 245 kW, juntamente com toda a instrumentação/medição necessária para o seu uso;
- Foi adquirida uma célula combustível de óxido sólido (SOFC) de 5 kWe;
- Modelagem e simulação, considerando a integração da célula com microturbinas a gás em ciclo combinado;
- O motor Stirling, previamente testado com GLP e gás natural, sofreu modificações para testes com biomassa;
- Uma unidade de demonstração de geração de energia elétrica a biomassa com capacidade de 3 kW foi também testada, dentro do enfoque de avaliação de pequenas unidades de GD;

- Foi realizada a conexão de um chiller de absorção de simples efeito, LiBr-H20 de 10 TR de capacidade calorífica, fabricado por Thermax a uma microturbina Capstone de 30 kW através de um trocador de calor.

Resultados:

- Montado e equipado os laboratórios do NEST/UNIFEI. Este projeto contribuiu significativamente para a constituição do NEST como centro de excelência;
- Protótipo originalmente construído de um sistema de gaseificação de biomassa;
- Participação em 13 eventos, sendo 12 deles internacionais;
- 18 publicações científicas, sendo 13 delas internacionais;
- Defesa de: 6 mestrados e 2 doutorados (considerados apenas na vigência do convênio). Além disso, houve 3 estágios de pós-doutorado;

A Figura 2.2 ilustra as tecnologias pesquisadas no projeto.

Figura 2.2 – Painel de tecnologias pesquisas no P&D 001.

Benefícios:

- Este projeto foi bastante amplo. Tanto que muitos dos projetos posteriormente desenvolvidos na área de alternativas energéticas possuem em sua origem o P&D 001;
- Atualmente todos os equipamentos do projeto estão nos laboratórios do NEST, sendo utilizados em outras pesquisas. Isso teve um impacto direto em benefício da instituição de ensino e da sociedade;
- O projeto contribuiu para reforçar o caráter de centro de excelência e por serviços de consultoria para a instituição de pesquisa;
- Além disso, houve a formação de recursos humanos em nível de pós-graduação que desenvolvem as suas atividade no mercado e também uma ampla publicação;
- Pode-se dizer que a grande contribuição do projeto está no campo do conhecimento, uma vez que mesmo passados 10 anos do encerramento do projeto, as tecnologias de geração distribuída estudadas ainda não se popularizaram;

P&D 008

Referência: Diniz et al (2001)

Título: Célula combustível de polímero condutor iônico

Instituições envolvidas: Clamper, Unitech e Instituto de Química da USP em São Carlos

Coordenador do Projeto: Aílton Ricaldoni Lobo

Gerente do Projeto (Cemig): José Henrique Diniz

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

O contexto de origem deste projeto foi o mesmo do apresentado para o projeto P&D 001, adicionando a questão da economia do hidrogênio. No final dos anos de 1990 e no início dos anos de 200, havia uma grande expectativa quanto a disponibilidade das tecnologias de produção e uso de hidrogênio para eletricidade. A ideia da economia do hidrogênio se apoia essencialmente na convergência de uso das fontes primárias para a produção de eletricidade e hidrogênio e no uso de hidrogênio nas células a combustível. Naquelas situações onde o combustível seja fóssil, deveriam também serem aplicadas as técnicas de captura e sequestro de carbono. Essa visão trás uma expectativa de benefício para a sociedade, uma vez que o grande problema da sociedade atual encontra-se entorno das emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, instituições como o EPRI (*Electric Power Research Institute*) indicavam que a maturidade da tecnologia de células a combustível acarretaria em uma redução significativa de preços, alcançando inclusive patamares menores do que as tecnologias convencionais. Isso representaria uma ameaça real às concessionárias de energia, na medida em que os consumidores poderiam produzir a sua própria energia e usando sistema com apelo ambiental para redução de emissões e com maiores eficiências.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver uma célula a combustível nacional, adentrando nesse universo novo para o setor elétrico, que era a economia do hidrogênio.

Duração: 2001-2004

Objetivos:

- Desenvolver, testar e comparar catalisadores para células a combustível de polímero condutor iônico, utilizando platina e outros metais incorporados sobre partículas de carbono, usando os métodos convencionais e a técnica sol-gel desenvolvida por pesquisadores do IQSC/USP em parceria com a Clamper;
- Desenvolver e testar protótipos de célula a combustível de polímero condutor iônico, utilizando os catalisadores desenvolvidos na etapa anterior e tendo como combustíveis o hidrogênio e o etanol;
- Desenvolver sistemas eletrônicos de controle, realizar testes e estudos sobre a qualidade e o custo da energia produzida utilizando essa tecnologia.

Metodologia:

- Pesquisa científica e tecnológica de materiais e processos;
- Especificação, análise e aquisição de materiais e equipamentos;
- Preparação e ensaios de caracterização de Catalisadores;
- Preparação e ensaios de caracterização de eletrodos;
- Preparação e testes de conjuntos membrana-eletrodo (MEA) e de células unitárias;
- Desenvolvimento, montagem e testes de protótipos de célula a combustível a hidrogênio;
- Desenvolvimento, montagem e testes de protótipos de célula a combustível a etanol/
- Desenvolvimento de sistemas eletrônicos periféricos;
- Avaliação dos resultados, análise de viabilidade técnico-econômica, elaboração do relatório final.

Resultados:

- Foram desenvolvidas duas células a hidrogênio, uma de 500 W e outra de 1000 W: são as primeiras células a combustível desenvolvidas na América Latina. Em uma segunda etapa, foram desenvolvidos os protótipos para uso do etanol direto.
- Aumento do conhecimento técnico e científico na área de células a combustível de polímero condutor iônico, por meio de pesquisas, medições e experimentações;
- Construção do Laboratório de Eletroquímica da CEMIG para montagem e teste de protótipos. Essa instalação foi desativada e desmontada em 2010;

- Elaboração, testes, caracterização e seleção de diversos tipos de pós catalisadores;
- Testes comparativos entre catalisadores preparados e comerciais;
- Construção e aquisição de células unitárias para ensaios laboratoriais de caracterização de conjuntos eletrodo-membrana-eletrodo;
- Testes de placas separadoras difusoras de gás e de conjuntos eletrodo-membrana-eletrodo para protótipos de hidrogênio de 500 W e 1000 W;
- Testes de eletrodos para etanol direto;
- Investigação e ensaios para determinação dos produtos intermediários da reforma do etanol.
- Pesquisas de produção de catalisadores usando diferentes técnicas, inclusive DLC (*Diamond-Like Carbon*);
- Desenvolvimento e teste de protótipos de células a etanol direto;
- Testes e aperfeiçoamento da célula a etanol direto, de periféricos e de softwares;
- Integração, otimização, compactação dos sistemas e transferência tecnológica para industrialização (preliminar).
- Publicação de um artigo no I Citenel;
- Desenvolvimento de um pós-doutorado.

A Figura 2.3 ilustra os resultados obtidos no projeto.

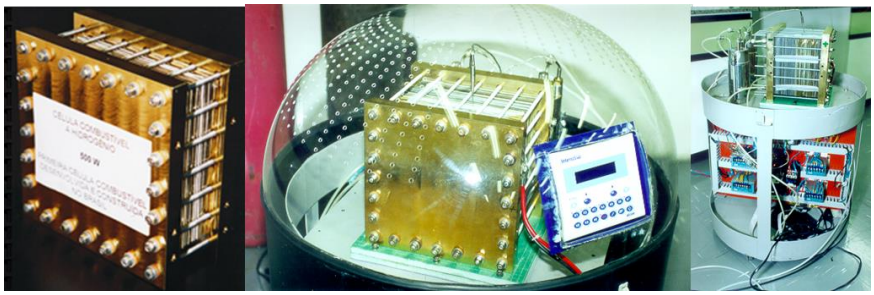


Figura 2.3 – Alguns resultados obtidos no P&D 008.

Benefícios:

- Este projeto trouxe o contexto da energia do hidrogênio para a concessionária e demonstrou que a complexidade deste assunto era maior do que o esperado. Mas alguns dos projetos da Cemig associados a este equipamento acabaram por surgir na expectativa de se atuar nos gargalos da tecnologia: o desenvolvimento de novas membranas em alternativa ao Nafion (P&D 232) e uso de nanotecnologia para redução da quantidade de catalisador (P&D 228);

- A célula a combustível desenvolvida foi demonstrada em muitos eventos até aproximadamente o ano de 2008. Foram muitas as feiras e eventos, onde a Cemig divulgou o resultado deste projeto, trazendo para a discussão este tema de ruptura e ajudando a reforçar a ideia de uma empresa de vanguarda;
- Ao longo do desenvolvimento deste projeto, detectou-se que as tecnologias associadas ao DLC poderiam ser promissoras para o desenvolvimento das células. Nesse sentido, ao final do projeto, a equipe da USP propôs um projeto para a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) sendo aprovado um projeto que tratava do desenvolvimento de células a combustível usando DLC, sendo que o P&D 008 se constitui em uma contrapartida para a participação da Cemig. Infelizmente esse projeto não obteve resultados desejados no sentido de viabilizar a tecnologia.
- Ao final do projeto foram feitos 2 pedidos de patentes, que no entanto não se concretizaram devido aspectos de anterioridade, o que inviabilizou o deposito associado ao desenvolvimento do P&D 008.

P&D 050

Referência: Silva, Carvalho e Torres (2007)

Título: Laboratório experimental para produção de hidrogênio para uso como vetor energético

Instituições envolvidas: CENEH/Unicamp (consultoria)

Coordenador do Projeto: José Henrique Diniz

Gerente do Projeto (Cemig): André Martins Carvalho

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

Dentro da economia do hidrogênio, a vertente principal de incentivo era constituida pelo dispositivo que propiciava a reação eletroquímica que proporcionaria a obtenção de eletricidade – as células a combustível. Entretanto a cadeia de produção e uso do hidrogênio como um vetor, na forma de um transportador de energia, possuía diversos gargalos. Entre eles o fato de que produzir hidrogênio já era um processo relativamente dominado. Mas o problema nesse caso é que os custos de produção do hidrogênio encontravam-se estabelecidos pela sua utilização como químico e tal valor não atenderia aos requisitos competitivos para o uso energético. Além disso, a literatura retratava que lidar com hidrogênio significava em tratar com um químico perigoso, exigindo cuidados e procedimentos especiais. Nesse sentido, o projeto P&D 050 surgiu de forma a capacitar uma pequena equipe da empresa para lidar com as questões do hidrogênio.

Problema a ser resolvido:

Construir um laboratório experimental para investigação das questões associadas com o hidrogênio como vetor energético.

Duração: 2001-2006

Objetivos:

- Construção do laboratório experimental para produção de Hidrogênio, pelos processos eletrolítico e de reforma de gás natural e derivados de petróleo;
- Capacitação e treinamento de mão-de-obra para produção e manuseio de hidrogênio;
- Quantificação da energia consumida na produção de hidrogênio;
- Análise da utilização do gás produzido como vetor energético e;
- Utilização do hidrogênio como fonte de geração distribuída (células combustíveis e grupos motores-geradores).

Metodologia:

- As metodologias são a da eletrólise da água, utilizando equipamento dimensionado pela equipe de pesquisa, visando um maior rendimento e utilização de energia não assegurada ou fora de ponta e a da reforma catalítica de gás natural e hidrocarbonetos derivados do petróleo.
- Uma avaliação qualitativa e quantitativa do consumo de energia e valoração do gás produzido.
- Será um projeto de produção experimental, voltado para a qualidade do produto e qualificação de mão-de-obra, uma vez que a empresa não conhece de forma prática a produção e o manuseio do hidrogênio.
- Posteriormente à produção proceder-se-á a purificação do Hidrogênio, usando processos de absorção e adsorção em leito de partículas. A linha de purificação está inserida entre os compressores de baixa e alta pressão.

Resultados:

- Construção do laboratório experimental para produção de hidrogênio;
- Especificação, construção e instalação do processo de produção por eletrólise da água;
- 1 Artigo em congresso nacional;

A Figura 2.4 ilustra os resultados obtidos no projeto.

Benefícios:

- Capacitação em projeto e construção de sistemas envolvendo hidrogênio;
- Acompanhamento do estado da arte da tecnologia, por pesquisas em dissertações, teses, artigos, site e relatórios de patentes;
- Divulgação da existência da instalação como um reforço as ideias de originalidade, inovação e vanguarda da Cemig no setor energético nacional;
- O laboratório foi operado posteriormente, e os resultados constarão dos relatos associados ao P&D GT0181. O laboratório de hidrogênio esteve ativo até 2010, quando foi desativado.

Figura 2.4 – Laboratório experimental de hidrogênio – construção dentro do P&D 050.

P&D 097

Referência: Silva, Madureira, Carvalho e Domingues (2011)

Título: Desenvolvimento de um protótipo de pilha a combustível de óxido sólido de 50 W

Instituições envolvidas: Departamento de Química/UFMG

Coordenador do Projeto: Rosana Domingues Zacarias

Gerente do Projeto (Cemig): Érika Silveira Tôrres

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

No início dos anos de 2000, dentre as tecnologias de células a combustível mais pesquisadas e promissoras encontravam-se as células do tipo PEM (membrana trocadora de prótons) e SOFC (óxido sólido). O primeiro tipo já havia sido objeto de pesquisa da Cemig dentro do P&D 008. Já no caso do tipo SOFC, a Cemig havia feito uma aquisição de um equipamento dentro do P&D 001 com potência de 5 kW, mas esse equipamento possuía um contrato que impedia um pesquisa exploratória maior, permitindo apenas o seu uso. Nesse sentido surgiu uma oportunidade de desenvolver mais essa vertente associada a economia do hidrogênio, sendo as grandes vantagens da célula SOFC se encontrava na possibilidade de cogeração, obtendo-se assim maior eficiência, na aplicação em maior escala (potencia dispo-

nível aplicável a consumidores maiores ou comunidades) e também que suas condições operativas minimizavam os problemas de envenenamento.

Problema a ser resolvido:

Desenvolvimento pioneiro em território nacional do desenvolvimento de células a combustível do tipo SOFC.

Duração: 2004-2009

Objetivos:

- Desenvolver tecnologia nacional de produção de sistemas modulares de células a combustível de óxidos sólidos (do tipo SOFC), sendo proposta como meta final produzir um protótipo de 50 W;
- Desenvolver tecnologia nacional para síntese, conformação e sinterização de sistemas cerâmicos destinados a elaboração das células unitárias;
- Projetar e desenvolver placas bipolares para distribuição de gases e interconexão das células unitárias;
- Desenvolver tecnologia nacional para pré-aquecimento e partida das células e do protótipo de SOFC;
- Implementar os sistemas de segurança para trabalho com as células unitárias e com o protótipo de SOFC;
- Desenvolver sistemas periféricos de testes elétricos do protótipo de SOFC, visando a avaliação do desempenho e otimização do mesmo;
- Testar e caracterizar as meia-células, as células unitárias e o protótipo de SOFC;
- Montar um protótipo de pilha a combustível do tipo SOFC de 50 W;

Metodologia:

- Ampla revisão bibliográfica sobre o assunto de células a combustível do tipo SOFC;
- Formação da equipe e planejamento da pesquisa;
- Adequação do laboratório para a pesquisa;
- Projeto de construção do DHCEL – Dispositivo Hospedeiro da Célula;
- Projeto e construção do LaMPaC;
- Elaboração e montagem de célula unitária com eletrólito espesso;
- Preparação de materiais compósitos de anodo e de catodo para uso efetivo em meia-células;
- Preparação e caracterização de materiais compósitos de anodo (NiO/YSZ) e de materiais de catodo (LSM-YSZ) para célula unitária de alta temperatura usando o eletrólito denso;
- Caracterização de meia-células com eletrólito espesso, usando o potenciostato;

- Especificação de equipamentos para o LaMPaC;
- Célula unitária de eletrólito espesso preparada sobre uma pastilha de zircônia estabilizada com ítria (YSZ) no tama-nho para uso no DHCEL;
- Estudos reológicos das barbotinas de anodo e caracterização dos filmes obtidos por aerografia;
- Estudos das placas bipolares utilizando diferentes ligas metálicas;
- Atualização bibliográfica;
- Projetos construtivos do protótipo P50W, dos sistemas de controle térmico, de testes e de gases;
- Desenvolvimento e caracterização de pó, barbotina e filme de anodo suporte obtido por moldagem em fitas (tape cas-ting);
- Detalhamento no sistema de testes do protótipo;
- Projeto e execução de um dispositivo de testes de vedação dos selantes e aquisição de placas bipolares;
- Desenvolvimento e caracterização de filmes cerâmicos para as meias-células com eletrólitos finos;
- Projeto execução e testes do Protótipo PA (preparação para o protótipo final P50W);
- Aprimoramento do processo do filme de anodo suporte obtido por moldagem em fita;
- Modificação na suspensão e processamento e caracterização do filme de catodo;
- Testes de vedação dos selantes;
- Construção e execução e testes do Protótipo PB (preparação para o protótipo final P50W);
- Construção e execução e testes do Protótipo PC (preparação para o protótipo final P50W);
- Execução e testes do Protótipo P50W;

Resultados:

- Construção do laboratório LAMPaC na UFMG;
- Especificação, aquisição, montagem e operação dos equipamentos no atendimento das questões construtivas para a pesquisa de materiais cerâmicos;
- Construção de um protótipo experimental de célula unitária de SOFC e testes da mesma;
- 5 dissertações de mestrado;
- 2 teses de doutorado;
- Publicação de 7 artigos em revista;

- Publicação de 42 artigos em anais de congressos e seminários, sendo 34 desses apresentados nos eventos.

A Figura 2.5 ilustra os resultados obtidos no projeto.

Figura 2.5 – Teste da célula unitária de SOFC, no LAMPaC, dentro do P&D D097.

Benefícios:

- O LAMPaC continua desenvolvendo as pesquisas associadas a célula de óxido sólido. O financiamento dessas pesquisas ocorre por outras entidades de fomento. A Cemig mantém acompanhando o tema, principalmente através de estudos e artigos.

P&D 108

Referência: Silva, Madureira, Torres e Carvalho (2009)

Título: Produção de hidrogênio através da reforma de etanol

Instituições envolvidas: UNESP – Guaratinguetá/SP

Coordenador do Projeto: José Luz da Silveira

Gerente do Projeto (Cemig): Érika Silveira Tôrres/Cláudio Homero F. da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

Um dos gargalos para a utilização do hidrogênio é a logística. Ou seja, a necessidade de transporte do gás e de infraestrutura em larga escala para abastecimento dos usuários. De forma a se atuar nesse gargalo, pensou-se na possibilidade de de-

senvolvimento de um sistema de reforma de etanol, que deveria ser inserido nos veículos. Dessa forma, se abasteceria com etanol e o sistema produziria hidrogênio que poderia ser utilizado em células a combustível do tipo PEM, fazendo assim a substituição da propulsão por motores de combustão interna por veículos elétricos movidos a hidrogênio e células a combustível.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver um sistema de reforma de etanol para produção de hidrogênio adequando para uso junto com células a combustível e com possibilidade de acoplamento deste sistema em veículos.

Duração: 2003-2008

Objetivos:

- Estudar os componentes do reformador, identificando os diversos parâmetros para projeto;
- Desenvolver protótipos nacionalizados;
- Disseminar e contribuir para o desenvolvimento da geração distribuída;

Metodologia:

- Estudo de bibliografia disponível;
- Análise termodinâmica de sistemas reformadores de etanol;
- Caracterização e preparação de catalisadores para reforma de etanol;
- Estudo de dimensionamento de componentes para o sistema;
- Dimensionamento de protótipos de reformadores;
- Construção e ensaios experimentais no protótipo I;
- Análise do protótipo I e construção do protótipo II;
- Ensaios experimentais no protótipo II e dimensionamento do sistema de purificação;
- Construção do sistema de purificação e testes experimentais no sistema de reforma – protótipo II.

Resultados:

- Construção e operação dos protótipos I e II, sendo que este último foi incorporado ao Laboratório Experimental de Produção de Hidrogênio da Cemig (P&D 050). O protótipo foi encaminhado para a Universidade Federal de Uberlândia para continuidade de pesquisas dentro do P&D GT288, que tratou sobre o desenvolvimento de catalisadores para reforma de biomassa.
- 1 mestrado;
- 1 artigo técnico em evento nacional;

A Figura 2.6 ilustra os resultados obtidos no projeto.

Figura 2.6 – Reformador de Etanol, protótipo II do P&D GT108.

Benefícios:

- Através da imagem fica evidente de que a pretensão inicial de um sistema transportável e compacto não se realizou;
- O projeto contribuiu essencialmente para o entendimento das questões associada a produção e operação com segurança de sistemas com hidrogênio. Serviu também para subsidiar a tomada de decisão quanto a realização de projetos de pesquisa no tema;

P&D 119

Referência: Torres et al. (2011)

Título: Conjunto motogeradores de eletricidade usando motores de combustão interna movidos a álcool hidratado

Instituições envolvidas: CETEC

Coordenador do Projeto: José Eustáquio da Silva

Gerente do Projeto (Cemig): Érika Silveira Tôrres

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

No início dos anos 2000, a disponibilidade de veículos flex promoveu um significativo crescimento no consumo de etanol. O diferencial desta tecnologia reside na possibilidade de se utilizar etanol e gasolina nos motores de combustão interna. O etanol possui um apelo ambiental associado a menores emissões de gás de efeito estufa (considerando o ciclo de vida). Um problema enfrentado pelas concessioná-

rias naquela época estava direcionado para o atendimento de comunidades isoladas. De maneira geral no estado de Minas Gerais, a cultura da cana poderia se constituir em uma possibilidade local de produção e combustível, surgindo assim a ideia de um grupo motor-gerador utilizando etanol.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver um grupo motor gerador movido a etanol, para utilização em comunidades isoladas.

Duração: 2004-2007

Objetivos:

- Projetar, montar e avaliar o desempenho técnico e operacional de um conjunto motogerador acionado por um motor automotivo a álcool, em ambiente de laboratório e campo.

Metodologia:

- Estudo de revisão de dados e informações relativas aos assuntos centrais do projeto;
- Elaboração de lista detalhada com quantitativo e especificações dos principais equipamentos, partes de equipamentos, peças e outros materiais necessários à montagem do conjunto motogerador;
- Montagem do núcleo principal do motor automotivo e realização de seu amaciamento funcional em bancada dinanométrica de ensaios de motores, incluindo a obtenção das curvas iniciais de torque, potência, consumo e as respectivas avaliações de seu desempenho;
- Elaboração do projeto mecânico construtivo e a subseqüente construção da base mecânica de suporte para o conjunto motogerador, incluindo os elementos de fixação para todos os componentes do conjunto e os respectivos meios para sua transportabilidade;
- Elaboração do projeto construtivo para integração do motor ao gerador, com a compra dos itens para o respectivo acoplamento;
- Elaboração do projeto construtivo e a montagem do painel eletroeletrônico de comando do conjunto motogerador, integrando em painel elétrico único as diversas funções de comando, chaveamento e indicação das variáveis envolvidas na operação;
- Elaboração dos projetos construtivos complementares (carcaças e outros dispositivos finais de adequação da montagem) e montagem ou configuração de dispositivos simuladores de carga para o ensaio de desempenho do conjunto motogerador;
- Execução dos ensaios iniciais preliminares (testes operacionais parciais do conjunto), incluindo ajustes elétricos e mecânicos iniciais;
- Execução de ensaios complementares para verificação do desempenho e da operacionalidade do conjunto moto-gerador, visando seu uso por pessoas com baixa qualificação em eletromecânica;

- Execução de um ciclo curto de rodagem do conjunto motogerador visando à avaliação do desempenho e de funcionalidade de média duração, utilizando o dispositivo simulador de carga para avaliar a resposta do conjunto às alterações de carga;
- Execução de um ciclo de rodagem para avaliação da durabilidade. Se for possível, utilizar álcool de diferentes qualidades, inclusive álcool produzido em microdestilarias que não têm seu produto controlado pela Agência Nacional de Combustíveis (ANP);
- Elaboração dos desenhos finais e corridos "as Built" de toda a montagem;
- Avaliação final

Resultados:

- Protótipo de grupo motorgerador desenvolvido.
- 1 artigo técnico em evento nacional;

A Figura 2.7 ilustra os resultados obtidos no projeto.

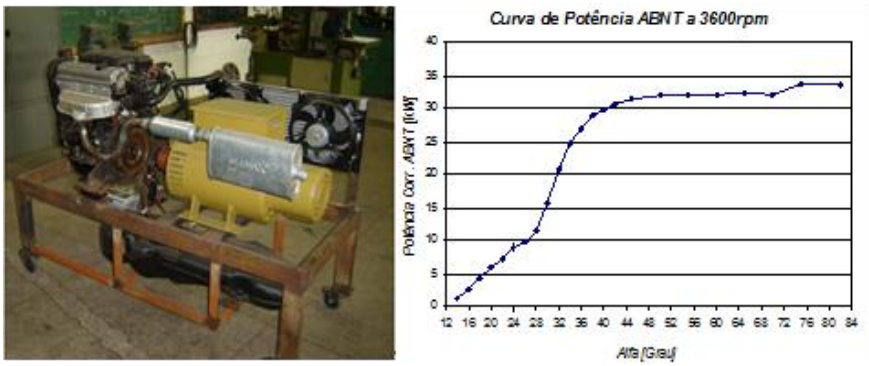


Figura 2.7 – Grupo motor gerador movido a etanol, protótipo do P&D GT108.

Benefícios:

- O protótipo foi desenvolvido. Entretanto os desenvolvimentos nesse segmento ficaram restritos apenas ao âmbito do projeto;
- O protótipo permaneceu na CETEC para pesquisas em motores (uma das expertise da instituição) e a CETEC foi extinta em 2014.

P&D 123

Referência: Silva, Silva e Lopes (2011)

Título: Sistema de geração de energia com motor stirling

Instituições envolvidas: NEST/UNIFEI

Coordenador do Projeto: Electo Eduardo da Silva Lora/Vladmir Mélian Cobas

Gerente do Projeto (Cemig): Virgílio de Almeida Medeiros/Bruno Marciano Lopes

Contato atual: bruno.marciano@cemig.com.br , chomero@cemig.com.br

Contexto:

Durante o desenvolvimento do Projeto de P&D 001, foram adquiridos e testados 3 motores Stirling de 2 modelos diferentes. Baseados nos testes de desempenho e a aplicação, detectou-se uma oportunidade de desenvolvimento de tecnologia nacional deste tipo de motor, tanto para aplicações usando biomassa, que se constituiu no P&D 123, quando para aplicações solares, formatado dentro do P&D 328 (esse projeto não foi realizado).

Problema a ser resolvido:

Desenvolver um motor Stirling nacional.

Duração: 2004-2009

Objetivos:

- Desenvolver protótipos nacionalizados de motores Stirling, com sistema de combustão de biomassa associado;
- Projetar, construir e testar uma fornalha compacta para a queima de biomassa para o acionamento de motores Stirling;
- Disseminar e contribuir para o desenvolvimento da geração distribuída;

Metodologia:

- A modelagem do sistema, visando a definição das características do novo motor;
- Desenvolvimento, fabricação e testes de avaliação de três prototipos de 9 kW com sistema de combustão de biomassa associado;
- Projetar, construir e testar uma fornalha compacta para queima de biomassa;
- Avaliar a operação isolada, a viabilidade técnico-econômica e possibilidade de fabricação nacional;
- Elaboração dos desenhos finais e corridos "as Built" de toda a montagem;
- Avaliação final

Resultados:

- Protótipo de motor Stirling desenvolvido;
- Confecção de peças para a produção de mais dois protótipos;
- 1 dissertação de mestrado;
- 2 trabalhos de conclusão de curso de graduação;
- 2 artigos científicos em congressos internacionais;
- 2 artigo técnico em eventos nacional;
- 1 visita técnica internacional

A Figura 2.8 ilustra os resultados obtidos no projeto.

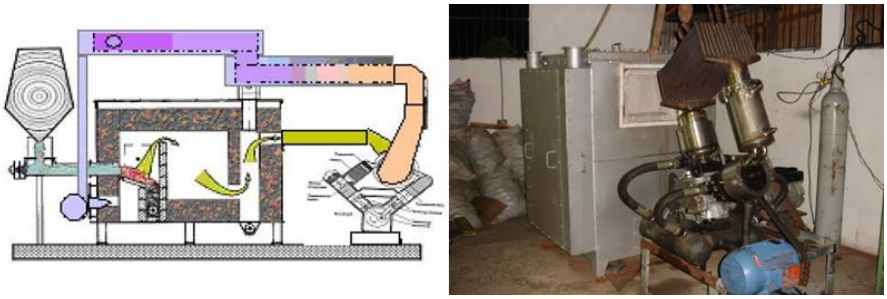


Figura 2.8 – Protótipo do P&D 123 – Motor Stirling.

Benefícios:

- O protótipo foi desenvolvido. Entretanto os desenvolvimentos nesse segmento ficaram restritos apenas ao âmbito do projeto;
- O protótipo permaneceu na Unifei para pesquisas posteriores.

P&D 141

Referência: Silva, Martins e Teixeira (2011)

Título: Produção de biodiesel para geração de energia elétrica em micro-turbinas e motores estacionários

Instituições envolvidas: CETEC

Coordenador do Projeto: Lincoln Cambraia Teixeira

Gerente do Projeto (Cemig): Érika Silveira Tôrres/Acaz Ferreira Martins

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

A produção do biodiesel trata de uma opção renovável as fontes fósseis. Além disso, as culturas oleaginosas poderiam se constituir em opções para o desenvolvimento e a inclusão social. Havia também o fato de que a Cemig contava na época com um planejamento estratégico que a incluía também no setor de combustíveis.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver uma planta experimental para a produção de biodiesel, com funcionalidade demonstrativa e transportável.

Duração: 2004-2009

Objetivos:

- Desenvolvimento tecnológico da produção de biodiesel:
- Verificar a disponibilidade das matérias-primas, oleaginosas nativas, no Estado de Minas Gerais; estudar a cinética de reação minimizando as quantidades de álcool utilizadas; desenvolver uma unidade industrial de produção de biodiesel e produzir óleo transesterificado para realização de ensaios em microturbinas e motores estacionários.

- Caracterização físico-química de óleos vegetais e transesterificados: ampliar e atualizar a infraestrutura de caracterização físico-química e controle de qualidade de óleos vegetais e seus produtos transesterificados no CETEC; consolidar o CETEC, através da capacitação do Setor de Análises Químicas, como centro de referência na caracterização físico-química de óleos vegetal e biodiesel; apoiar pela caracterização físico-química dos insumos e produtos nas várias etapas do desenvolvimento de tecnologias para a produção de ésteres de ácidos graxos.
- Ensaios de eficiência em microturbinas e em motores do ciclo Diesel aplicáveis a grupo motogeradores: avaliar a eficiência de microturbinas movida a biodiesel na produção de energia elétrica; adequar um motor automotivo comercial para aplicação estacionária, através da alteração de suas curvas características por meio de recalibração do sistema de injeção de combustível; avaliar os efeitos da utilização de diferentes amostras de biodiesel, assim como diferentes concentrações em misturas destes com o Diesel, no desempenho dos motores de combustão interna operando através do ciclo Diesel aplicáveis a grupos motor-gerador; quantificar e comparar a opacidade, as emissões de gases poluentes e particulado resultantes da utilização do Diesel e das diferentes amostras de biodiesel em motores aplicáveis a geração de energia.

Metodologia:

- Atualização bibliográfica acerca dos assuntos necessários para o desenvolvimento deste projeto;
- Especificação e aquisição de equipamentos e insumos para laboratório;
- Levantamento de informações de campo sobre oleaginosas nativas e plantadas;
- Instalação dos equipamentos e adequações necessárias;
- Desenvolvimento, implantação e validação de metodologias para testes e ensaios;
- Estudo cinético de produção de biodiesel;
- Análises cromatográficas;
- Análise de qualidade do biodiesel, incluindo o índice de cetano;
- Especificação, projeto, construção e montagem da planta piloto de biodiesel;
- Produção e monitoramento do biodiesel e realização de ensaios e testes de desempenho em microturbinas e motores estacionários;
- Projeto de uma unidade de produção de biodiesel para o campo;
- Demonstração da planta piloto;
- Elaboração de documentação técnica e transferência de conhecimentos entre as equipes da CETEC e da Cemig GT S.A

Resultados:

- Laboratório experimental de produção de biodiesel construído e operado;

- 1 artigo técnico em revista nacional;

A Figura 2.9 ilustra os resultados obtidos no projeto.

Figura 2.9 – Resultados do P&D 141.

Benefícios:

- O projeto atendeu aos seus objetivos. Entretanto os desenvolvimentos nesse segmento ficaram restritos apenas ao âmbito do projeto;
- A planta experimental permaneceu instalada na CETEC;
- Em 2014 a CETEC foi extinta e a instalação desativada.

P&D 181

Referência: Silva, Madureira e Carvalho (2011) e Silva e Madureira (2011)

Título: Produção de hidrogênio por processo eletrolítico e reforma de etanol, em alto grau de pureza para utilização como vetor energético no laboratório da UTE Igarapé CEMIG

Instituições envolvidas: Hytron e CENEH/Unicamp (consultoria)

Coordenador do Projeto: Paulo Ferreira

Gerente do Projeto (Cemig): Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

Dentro do projeto de P&D 050 foi construído o Laboratório Experimental de Produção de Hidrogênio da Cemig. O presente projeto visava a sua operação e principalmente a avaliação econômica assim como possíveis oportunidades associadas ao hidrogênio energético.

Problema a ser resolvido:

Operação experimental do laboratório de hidrogênio. Definição dos requisitos de segurança no seu manuseio e avaliação de custos de produção e para fins energéticos.

Duração: 2007-2009

Objetivos:

- Produção de hidrogênio para ser utilizado como vetor energético.
- Qualificar e quantificar o gás produzido;
- Purificar, monitorar a qualidade do gás usando o processo de cromatográfica gasosa;
- Quantificar os custos do hidrogênio
- Como objetivos secundários pode-se citar: quantificar a eficiência do eletrolisador utilizado no processo, mensurar o uso do hidrogênio como vetor energético via célula a combustível e analisar o uso do mesmo em outras aplicações;
- Disseminar e contribuir para o desenvolvimento e uso de energia elétrica via geração distribuída ou descentralizada de energia utilizando célula a combustível, que tem como combustível o hidrogênio.

Metodologia:

- Levantamento de dados da planta instalada no Laboratório Experimental de Produção de Hidrogênio;
- Estudo dos equipamentos da planta e sua operação, bem como treinamento específico realizado na UNICAMP entre os dias 22 e 25/05/2007, através do curso: “Segurança em sistemas com hidrogênio” e “Análise de gases ultra purificados”, totalizando 40 horas de treinamento individual;
- Adequações técnicas na planta (sistema de cromatografia) e legal (NR’s 10 e 13);
- Operação da planta em etapas unitárias;
- Operação contínua da planta e de forma integrada, com trabalho em turno de revezamento por 36 horas;
- Participação no Seminário Internacional “2007 Fuel Cell Seminar & Exposition”, realizado no Texas, EUA;
- Correção de falhas diversas que ocorram durante a operação, principalmente nos sistemas de retificação, cromatografia e eletrólise;
- Limpeza dos cilindros de hidrogênio;

- Análise de gases através de ensaios cromatográficos no CETEC e na UNICAMP e validação dos resultados de cromatografia do laboratório;
- Análises de consumo de energia;
- Operação da planta e compressão do hidrogênio produzido nos cilindros;
- Estudos do sistema de reforma de etanol;
- Estudos do sistema de produção de energia através de células a combustível do tipo PEM (*Proton Exchange Membrane*);
- Especificação e utilização do sistema de purificação.
- Análises de custo do hidrogênio produzido;
- Estudo da aplicabilidade da dissertação de mestrado de André Luis Furlan, desenvolvida dentro do projeto.

Resultados:

- Operação do laboratório de hidrogênio: metodologia e software;
- Desenvolvimento de documentação técnica operativa e de segurança;
- 2 artigo técnico em evento nacional;
- 1 dissertação de mestrado.

A Figura 2.10 ilustra os resultados obtidos no projeto.

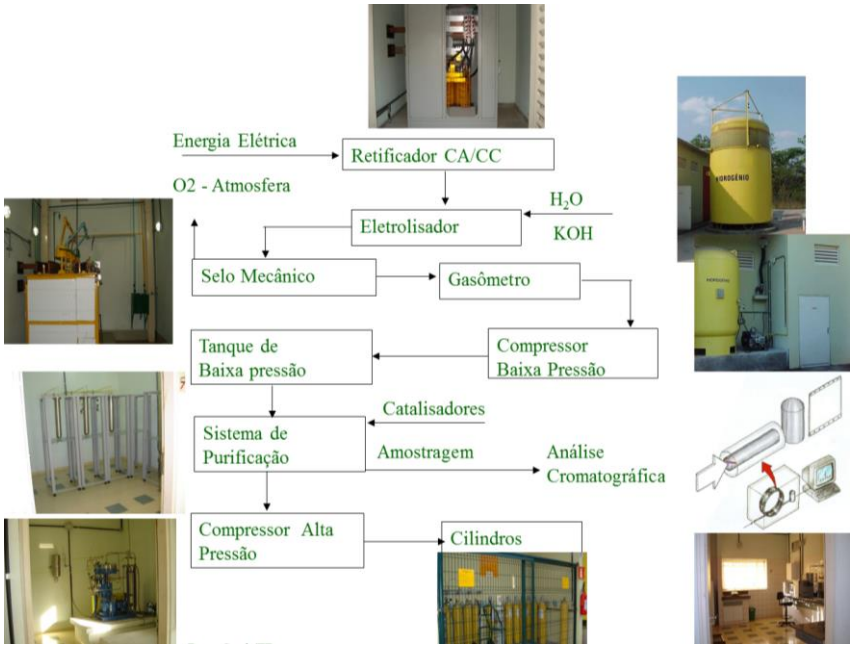


Figura 2.10 – Ilustração dos resultados do P&D 181.

Benefícios:

- O projeto atendeu aos seus objetivos. Entretanto os desenvolvimentos nesse segmento ficaram restritos apenas ao âmbito do projeto;
- Durante o projeto, a Cemig esteve envolvida nas discussões nacionais sobre o assunto, se constituindo em uma referência. Ao longo do processo de montagem e operação, a instalação foi visitada por diversos pesquisadores em busca de informações e nas discussões quanto a economia do hidrogênio;
- Em 2010, principalmente considerando-se a finalização dos projetos associados a instalação e ao reposicionamento quanto ao tema, optou-se por um acompanhamento das tecnologias do hidrogênio sem efetivamente investimentos diretos em pesquisa.

P&D 183

Referência: Documentação técnica do projeto

Título: Avaliação experimental de sistemas de aquecimento solar distrital para comunidades isoladas modelo de sustentabilidade

Instituições envolvidas: GREEN/PUC Minas

Coordenador do Projeto: Elizabeth Marques Duarte Pereira

Gerente do Projeto (Cemig): Virgílio de Almeida Medeiros/Bruno Marciano Lopes

Contato atual: bruno.marciano@cemig.com.br , chomero@cemig.com.br

Contexto:

O projeto foi uma oportunidade de atendimento às necessidades do setor elétrico e possibilitaria desenvolver o aquecimento distrital, inédito no país, com o objetivo de definir modelos de sustentabilidade para futuros programas de governo no atendimento à demanda de energia em habitações de interesse social.

Problema a ser resolvido:

Desenvolvimento de tecnologia e métodos para o aquecimento distrital

Duração: 2007-2012

Objetivos:

- Estabelecer critérios mínimos para o fornecimento de água quente à população de baixa renda apartir da relação otimizada entre o volume de água armazenado e área de coletores para diferentes localidades do país, da definição do número ótimo de casas a serem atendidas para sistemas específicos;
- Desenvolver o programa computacional para projeto automatizado da distribuição de água quente;
- Desenvolver e implantar modelo de monitoração e controle mínimos com base em Redes Neurais Artificiais para posterior extrapolação de resultados, promovendo sua multiplicação para outras unidades habitacionais;.

Metodologia:

- Aquecimento solar: levantamento de campo; Consolidação dos resultados da pesquisa de campo para os subsistemas; Simulações Computacionais e Planejamento de simulação; Ensaios Laboratoriais; Identificação de indicadores qualitativos e quantitativos para a instalação de aquecimento solar central;
- Definição de parâmetros e indicadores arquitetônicos e sociológicos para a implantação e impacto de sistema distritais de aquecimento solar;
- Modelagem e otimização de sistemas visando o desenvolvimento do software do projeto.

Resultados:

- Software Distrital Solar, programado em EES;
- 1 dissertação de mestrado;
- parte de desenvolvimento dentro de uma tese de doutorado;
- 5 artigos em congressos internacionais;

A Figura 2.11 ilustra os resultados obtidos no projeto.

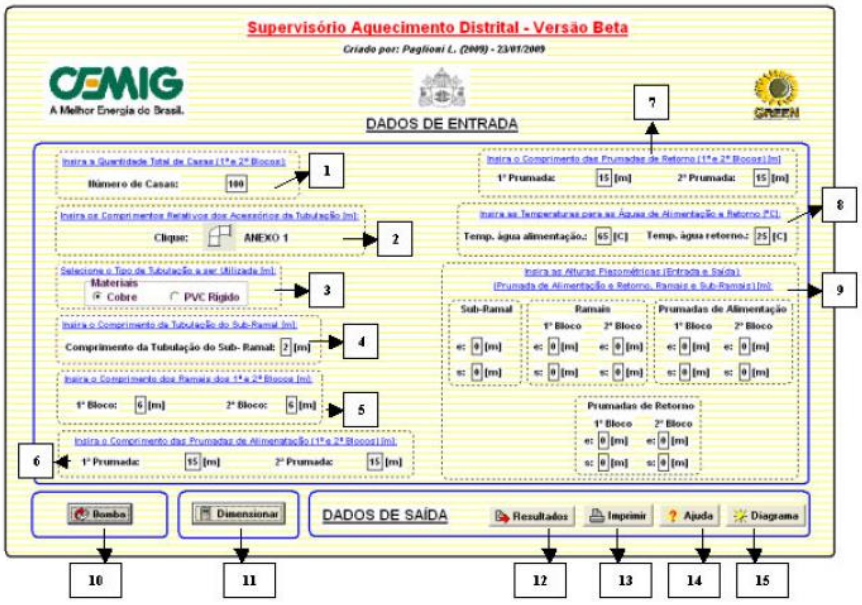


Figura 2.11 – Ilustração dos resultados do P&D 183.

Benefícios:

- O projeto não chegou a sua conclusão, não havendo então as implantações experimentais que suportariam as conclusões das pesquisas;
- Entretanto o assunto foi retomado no projeto de P&D 498.

P&D 185

Referência: Pereira et al. (2013)

Título: Geração termelétrica descentralizada para o setor siderúrgico

Instituições envolvidas: GREEN/PUC Minas

Coordenador do Projeto: Elizabeth Marques Duarte Pereira

Gerente do Projeto (Cemig): Carlos Renato França Maciel

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

A busca por alternativas energéticas que aliem a redução do uso de recursos naturias, aumente a eficiência energética dos processos e também contribuam para a redução das emissões, tem sido a grande diretriz da sociedade atual. A utilização de resíduos de processos industriais se apresentam como uma opção interessante nesse contexto. Incialmente, escolheu-se o setor siderúrgico para o mapeamento energético dado pelos gases siderúrgicos. Tal visão pode ser extrapolada para outros setores, como no caso do setor cimenteiro, que é o objeto de pesquisa do P&D 554.

Problema a ser resolvido:

Mapear o potencial energético de gases siderúrgicos no estado de Minas Gerais.

Duração: 2006-2009

Objetivos:

- Criar uma ferramenta de avaliação energética, com base nas leis da termodinâmica, para apoio a decisão em projetos visando o atendimento de demanda advinda dos setores de geração e uso eficiente de energia no setor industrial. Como consequência haverá a formação e qualificação de recursos humanos necessários à implantação e gerência de programas de eficiência energética.

Metodologia:

- Levantamento do Cenário energético do Setor Siderúrgico e dados de produção siderúrgica por empresa no estado de Minas Gerais;
- Modelagem energética e exergética de usinas termelétricas e Análise de disponibilidade química de combustíveis gasosos;
- Desenvolvimento de um programa computacional em EES;
- Confecção de um Atlas georreferenciado das siderúrgicas mineiras;
- Realização das simulações, levantamento dos potenciais de geração termelétrica por empresa e por região e consolidação dos dados.

Resultados:

- Base de dados georeferenciada das indústrias siderúrgicas e das respectivas fontes de combustíveis disponíveis para Minas Gerais;
- Software para calculo do potencial energético (SPTE), programado em EES;

- Mapeamento georrefernciado do potencial energético;
- Estudos de eficientização energética voltada para equipamentos e instalações da indústria siderúrgica;
- 1 iniciação científica;
- 1 estágio de pós-doutorado;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;
- 2 artigos em congressos internacionais;

A Figura 2.12 ilustra os resultados obtidos no projeto.

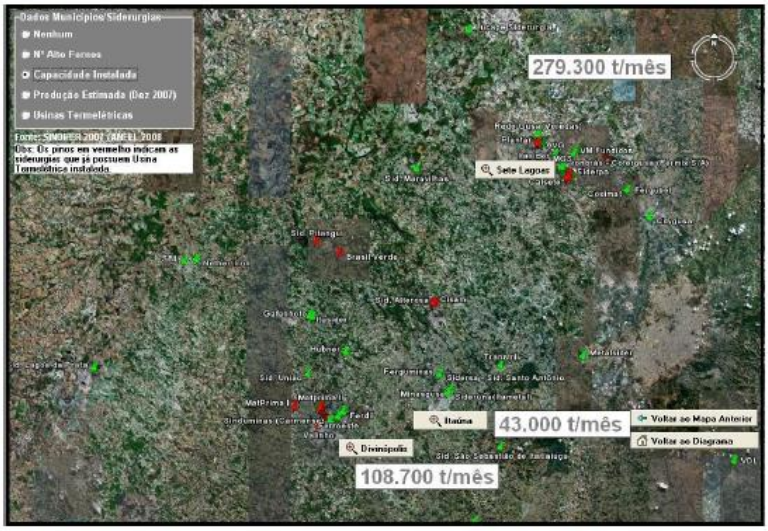


Figura 4 – Localização georreferenciada.

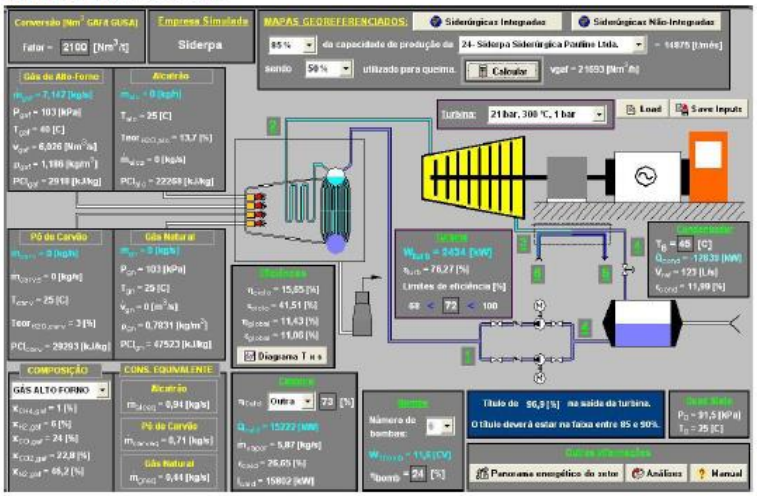


Figura 2.12 – Ilustração dos resultados do P&D 185.

Benefícios:

- O projeto foi divulgado para o setor siderúrgico, indicando as oportunidades de negócios. Entretanto, como se trata de um setor sujeito a intensas oscilações no mercado internacional, não se verificou uma intensa exploração do potencial indicado;
- De qualquer forma, os desenvolvimentos do projeto se mostraram relevantes no sentido de levantar informações e estruturar os conhecimentos científicos em torno da questão. A documentação é frequentemente estudada por estagiários da área, ainda carecendo de uma atualização mais profunda e definitiva.

P&D 194

Referência: Leme et al. (2011)

Título: Avaliação das opções tecnológicas para a geração de eletricidade a partir do lixo urbano e poda de árvores

Instituições envolvidas: NEST/UNIFEI

Coordenador do Projeto: Electo Eduardo da Silva Lora

Gerente do Projeto (Cemig): Virgílio de Almeida Medeiro/Bruno Marciano Lopes

Contato atual: bruno.marciano@cemig.com.br , chomero@cemig.com.br

Contexto:

A utilização da energia dos resíduos representa tanto uma oportunidade energética quanto de eficiência. Em 2010, o país estava envolvidos nas discussões associadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Dentro das questões a serem tratadas e discutidas, a questão do potencial das possíveis tecnologias aplicáveis e também o mapeamento de potencial energético expressavam pontos cruciais.

Problema a ser resolvido:

Avaliar o potencial energético de resíduos sólidos urbanos em diversas tecnologias.

Duração: 2008-2010

Objetivos:

- Avaliar as diferentes opções tecnológicas para o aproveitamento energético do lixo urbano de forma técnica e econômica.
- Comparar utilizando a ferramenta de Análise do Ciclo de Vida as opções de aterro sanitário e incineração.

Metodologia:

- Para avaliar estas alternativas, foi desenvolvido no âmbito do projeto um software capaz de realizar diagnósticos técnico-econômicos dessas. O objetivo do programa é auxiliar a tomada de decisão para a construção de empreendimentos focados na recuperação energética dos RSU, baseando-se em indicadores

econômicos habitualmente utilizados em análises de investimento como o Fluxo de Caixa, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno.

- Com informações sobre o resíduo gerado na cidade, o software é apto a estimar o potencial energético do RSU, realizando balanços de acordo com as informações fornecidas pelo usuário. Como qualquer análise econômica, os resultados são influenciados por inúmeras variáveis. Portanto, o programa foi desenvolvido para dar liberdade ao usuário para estabelecer todos os parâmetros envolvidos no diagnóstico.
- Foram desenvolvidas duas metodologias para empreendimentos distintos. A primeira criada para estimar a viabilidade econômica de projetos de geração de energia com biogás de aterros sanitários. Nela, parte-se da premissa que o aterro já está construído e o empreendedor pretende aproveitar o potencial para produzir e vender energia elétrica e gerar créditos de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GHG). O usuário tem liberdade para escolher qual grupo gerador pretende aplicar no aterro, sejam Turbinas a Gás, Motores a Combustão Interna, Motores Stirling ou qualquer outro tipo tecnologia que utilize o biogás para gerar eletricidade.
- A segunda metodologia tem por objetivo estimar a viabilidade econômica de projetos de incineração de lixo com recuperação de energia. Diferentemente da anterior, nela são considerados os custos de implantação do zero, portanto, são considerados os custos da compra de terra, terraplanagem, e outros, bem como as receitas provenientes do tratamento do lixo. Esta distinção foi necessária para adaptar os empreendimentos à realidade brasileira, pois, em sua totalidade, os projetos de aterros com geração de energia são desenvolvidos em aterros pré-existentes.

Resultados:

- Software para calculo do potencial energético usando resíduos em Excel;
- 1 dissertação de mestrado;
- 2 artigo técnico em congresso nacional;
- 1 artigo em revista internacional.

A Figura 2.13 ilustra os resultados obtidos no projeto.

Benefícios:

- O projeto foi utilizado pelo setor na avaliação de oportunidades de negócios e no posicionamento estratégico quanto ao tema associado a energia dos resíduos. Entretanto trata-se de uma área com complexidade adicional, expressa pelas vertentes: jurídicas-institucional, social, ambiental, de tal forma que até a presente data ainda não se viabilizaram de forma geral os empreendimentos de energia usando resíduos no Brasil.

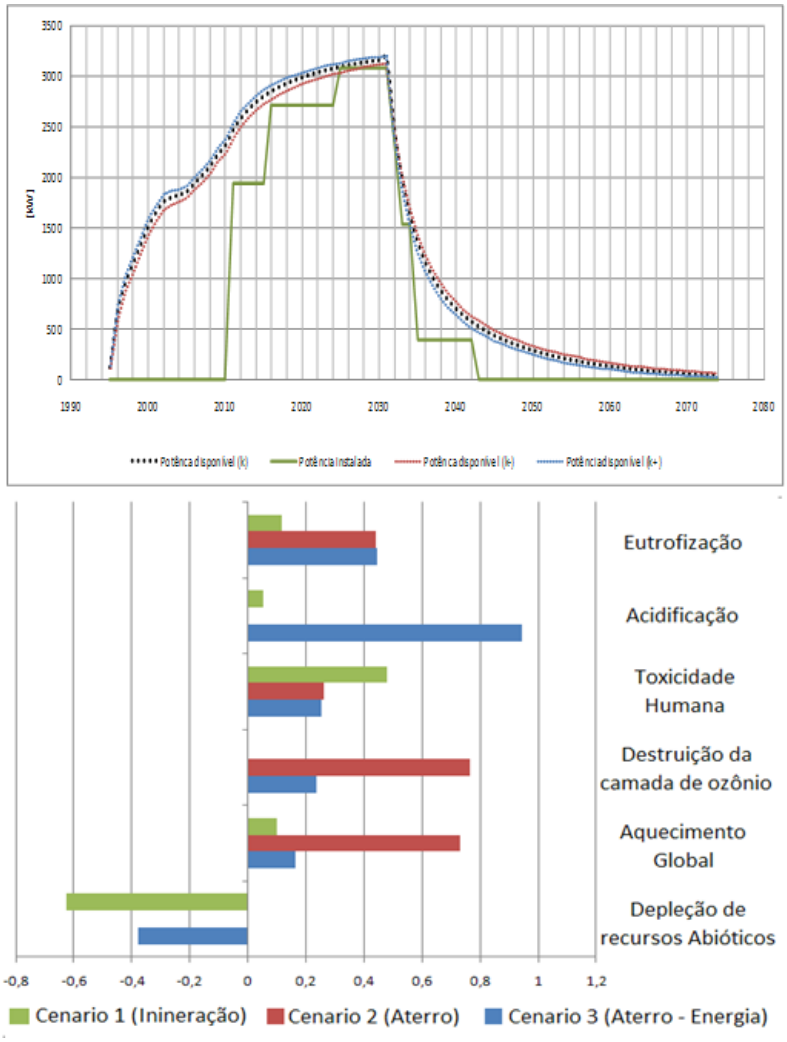


Figura 2.13 – Ilustração dos resultados do P&D 194.

P&D 228

Referência: Silva, Madureira, Prates, Lacerda e Ferlauto (2013)

Título: Aplicações de nanotubos de carbono em membranas de troca protônicas para células combustíveis

Instituições envolvidas: Departamento de Física/UFMG

Coordenador do Projeto: Rodrigo Gribel Lacerda

Gerente do Projeto (Cemig): Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

A execução do projeto de P&D 008 indicou que um dos gargalos associado ao custo da tecnologia era o processo de impregnação do catalisador. A tecnologia de nanotubos de carbono se mostrava aplicável a esse caso, com expectativa da redução significativa do uso do catalisador.

Problema a ser resolvido:

Desenvolvimento de processo e metodologia de nanotubos de carbonos aplicável a células a combustível do tipo PEM.

Duração: 2009-2011

Objetivos:

- Desenvolver eletrodos para células combustíveis baseadas em membranas de troca protônica (PEM). Esses eletrodos serão fabricados utilizando matrizes de nanotubos de carbono, que servirão tanto para a condução eletrônica como para o suporte de nanopartículas metálicas de platina (Pt), paládio (Pd), entre outros.
- Aumentar a eficiência de geração de energia das células tipo PEM;
- Redução de seu custo devido à diminuição na quantidade de metais nobres utilizados nos eletrodos;
- Desenvolvimento de protótipo visando um produto comercial.

Metodologia:

- Revisão bibliográfica e levantamento do estado da arte da tecnologia;
- Desenvolvimento do sistema de crescimento nanotubos em larga escala, usando arco elétrico e deposição química na fase vapor (CVD).
- Síntese de nanotubos de carbono usando arco elétrico, CVD e plasma-CVD;
- Purificação e dispersão e funcionalização dos nanotubos de carbono;
- Preparação de nanoparticulas catalisadoras, usando ouro e platina;
- Fabricação de eletrodos por CVD assistido por plasma (PECVD);
- Fabricação de eletrodos de CNT por CVD e em panos;
- Decoração de nanotubos de carbono com partículas catalisadoras, isto é, a alocação de partículas de catalisadores no interior dos nanotubos criando a funcionalidade catalítica;
- Caracterização e otimização de eletrodos de nanotubos de carbono;
- Testes da membrana de CNT/catalisador em células unitárias;
- Protótipo de uma célula do tipo PEM baseada em eletrodos de nanotubos de carbono.

Resultados:

- Desenvolvimento de metodologia e produção de catalisadores usando nanotubos de carbono (o que foi chamada de protótipo);

- 2 dissertações de mestrado;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;

A Figura 2.14 ilustra os resultados obtidos no projeto.

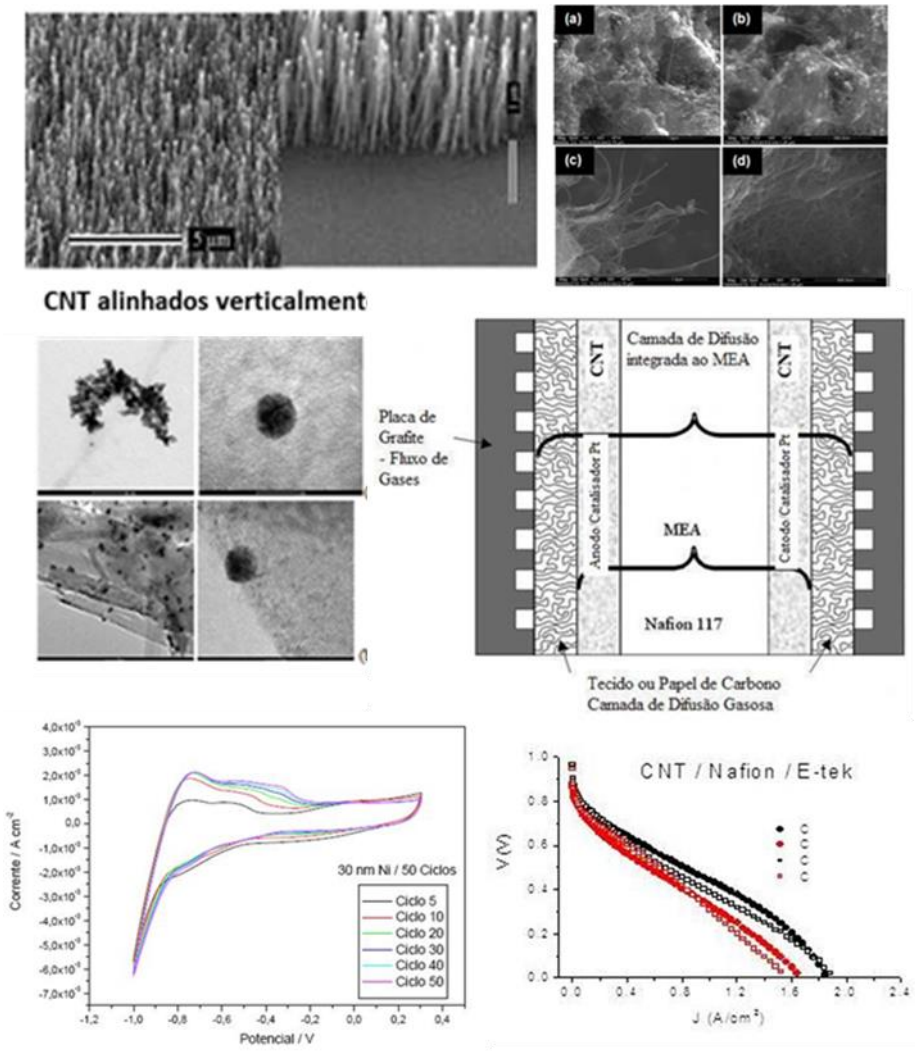


Figura 2.14 – Ilustração dos resultados do P&D 228.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto decorrem da capacitação e das informações obtidas através de seu desenvolvimento. Não houve desdobramento da pesquisa ou novo projeto.

P&D 232

Referência: Silva, Madureira, Prates, Souza, Souza, Silva, Souza e Freitas. (2013)

Título: Desenvolvimento de membrana polimérica para célula a combustível

Instituições envolvidas: Departamento de Engenharia Química/UFMG

Coordenador do Projeto: Roberto Fernando de Souza Freitas

Gerente do Projeto (Cemig): Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

A execução do projeto de P&D 008 indicou que um dos gargalos associado ao custo da tecnologia encontrava-se na dependência da membrana Nafion, da fabricante Du Pont.

Problema a ser resolvido:

Desenvolvimento de uma membrana alternativa ao Nafion.

Duração: 2008-2011

Objetivos:

- Desenvolvimento de nova membrana polimérica para utilização em células a combustível, com as seguintes características desejáveis: Capacidade de se manter estável em temperaturas superiores a 100ºC; Menor demanda de umidificação comparativamente às atuais membranas; Menor custo; Melhor desempenho em termos de geração de energia E, como objetivos específicos: Avanço no conhecimento científico e tecnológico sobre polímeros condutores; Desenvolvimento de um espectro de materiais poliméricos com propriedades que possibilitem o seu uso como membranas para célula a combustível; Consolidação de metodologia para preparação de membranas poliméricas para célula a combustível.

Metodologia:

- Revisão bibliográfica sobre as membranas poliméricas – suas aplicações em células a combustível – e sobre as Normas Técnicas pertinentes aos ensaios em membranas poliméricas constituintes de células a combustível utilizadas na geração de energia;
- Análise dos fatores de degradação das membranas poliméricas das células a combustível;
- Seleção das células a combustível a serem estudadas;
- Execução dos testes a serem feitos nas membranas poliméricas das células a combustível selecionadas;
- Definição e aquisição dos monômeros para síntese das membranas; Síntese e caracterização das membranas poliméricas;
- Realização de testes com as membranas poliméricas obtidas;

- Análise preliminar dos efeitos, consequências e impactos ao sistema elétrico da CEMIG, ao meio ambiente e à sociedade, caso a produção da membrana polimérica seja alcançada com sucesso.

Resultados:

- Desenvolvimento de metodologia e produção de uma membrana com os requisitos especificados;
- 1 dissertação de mestrado;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;
- 1 artigo em revista internacional;

A Figura 2.15 ilustra os resultados obtidos no projeto.

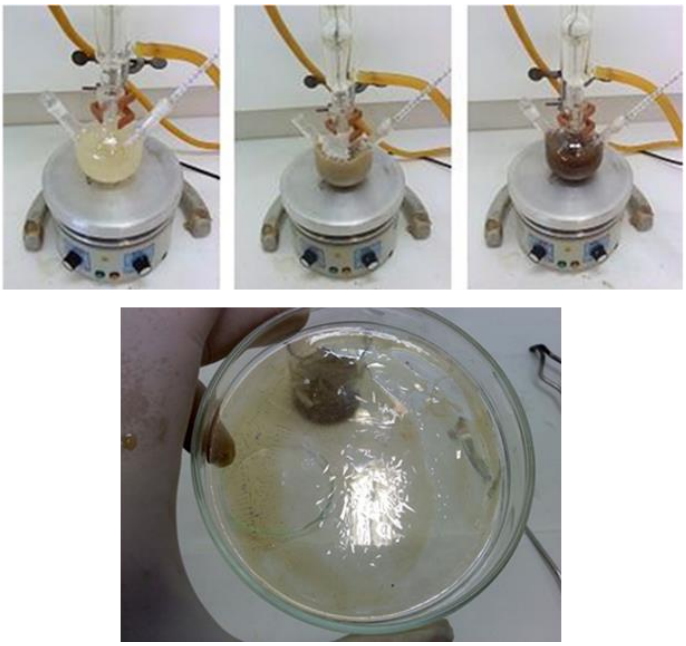


Figura 2.15 – Ilustração dos resultados do P&D 232.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto decorrem da capacitação e das informações obtidas através de seu desenvolvimento. Não houve desdobramento da pesquisa ou novo projeto por parte da Cemig. Na UFMG, considerando a existência de um grupo de pesquisas em polímeros, o tema continua em desenvolvimento sendo que o profissional que defendeu o mestrado no projeto avançou e em 2016 defendeu também o doutorado, evoluindo a pesquisa nas lacunas não exploradas durante o P&D 232 (testes da membrana desenvolvida em uma célula a combustivel).

P&D 234

Referência: Lopes et al. (2009)

Título: Desenvolvimento de centrais eólicas adaptadas às condições de vento do estado de Minas Gerais

Instituições envolvidas: Departamento de Engenharia Elétrica/UFMG

Coordenador do Projeto: João Antônio de Vasconcelos

Gerente do Projeto (Cemig): Bruno Marciano Lopes

Contato atual: bruno.marciano@cemig.com.br

Contexto:

O acesso às fontes modernas de energia é um dos principais indicadores de desenvolvimento de um povo. O acertado processo de universalização do uso de energia elétrica constitui um desafio às concessionárias do setor, que precisam prover as mais competitivas soluções para o provimento de energia a consumidores remotos. Em regiões como o Norte de Minas Gerais, onde a densidade populacional e o consumo específico de energia são baixos, esta questão se agrava, uma vez que o provimento via rede convencional assume custos elevados.

Problema a ser resolvido:

Provimento de energia em localidades remotas, com rede de distribuição fraca, por meio do desenvolvimento de aerogerador de pequeno porte adaptado ao regime de vento de áreas montanhosas.

Duração: 2008-2011

Objetivos:

- Caracterização do regime de ventos em terrenos complexos para fins de desenvolvimento de turbinas eólicas de pequeno porte, com os seguintes objetivos específicos: Estudo das condições de contorno do vento em MG visando a modelagem numérica da camada limite em terrenos complexos; Simulação numérica das condições de contorno do vento em terrenos complexos de MG.
- Desenvolvimento de uma turbina eólica de baixo custo e alta eficiência de 10 kW, adaptada aos regimes de vento de MG, com os seguintes objetivos específicos: Estabelecimento de uma metodologia de projeto para turbinas eólicas de baixa potência (10 kW), com baixos custos de fabricação, operação e manutenção; Execução, através da metodologia proposta, do projeto global de uma turbina eólica; Fabricação de protótipo completo; Projeto e execução de um programa inicial de ensaios.
- Desenvolvimento de um sistema de geração, adequadas para acionamento direto por turbina eólica de baixa potência, para conexão com redes elétricas de distribuição: Desenvolvimento de um gerador de corrente alternada de baixa rotação e alta eficiência; Desenvolvimento do sistema de conversão estática; Desenvolvimento do sistema de controle e automação da turbina eólica e gerador.

Metodologia:

- Estudo das condições de contorno do vento em MG;
- Simulação numérica das condições de contorno do vento em MG;
- Validação das simulações numéricas;
- Estabelecimento de uma metodologia de projeto para turbinas eólicas de baixa potência (10 kW), com baixos custos de fabricação, operação e manutenção;
- Execução, através da metodologia proposta, do projeto global de uma turbina eólica;
- Análise e otimização das alternativas de sistemas de geração, adequadas para o acionamento direto, sem caixa de multiplicação de velocidade, por turbina eólica de baixa potência, para conexão com redes elétricas de distribuição;
- Desenvolvimento de um gerador de corrente alternada, de baixa rotação e alta eficiência (concepção, projeto e construção);
- Implementação computacional do projeto da estação eólica na camada limite atmosférica;
- Simulações sobre o funcionamento dinâmico da estação eólica na camada limite atmosférica;
- Estudo da camada limite atmosférica em regiões diferentes e verificação do projeto da estação eólica;
- Execução, através da metodologia proposta, do projeto global de uma turbina eólica;
- Fabricação de protótipo completo incluindo pás, cubo, mecanismo de variação de passo e acoplamento ao gerador;
- Desenvolvimento de um sistema de conversão estática (elementos ativos e passivos);
- Desenvolvimento de um sistema de controle e automação da turbina eólica e do gerador.

Resultados:

- Metodologia de projeto desenvolvida;
- Primeira versão do protótipo construído.
- 1 artigo em congresso nacional.

A Figura 2.16 ilustra os resultados obtidos no projeto.

Figura 2.16 – Protótipo do aerogerador de pequeno porte - P&D 234.

Benefícios:

- O projeto teve como principal legado a capacitação de profissionais na área e a análise crítica sobre a viabilidade desse tipo de geração no contexto Brasileiro e em Minas Gerais. O desenvolvimento do aerogerador não teve continuidade.

P&D 237

Referência: Giraldo et al. (2015)

Título: Avaliação teórico-experimental da gaseificação de biomassa para o acionamento de células a combustível de óxido sólido (SOFC)

Instituições envolvidas: NEST/UNIFEI

Coordenador do Projeto: Vladmir Rafael Mélian Cobas

Gerente do Projeto (Cemig): Bruno Marciano Lopes

Contato atual: bruno.marciano@cemig.com.br

Contexto:

A execução do projeto de P&D 001 investigou algumas potencialidades sobre geração distribuída e energia da biomassa. Naquele projeto ainda foi feita a aquisição de uma célula a combustível do tipo SOFC. Dentre as opções interessantes de desdobramento ao final do P&D 001 a abordagem de gaseificação da biomassa aplicável a célula SOFC parecia promissora, merecendo então um projeto a respeito.

Problema a ser resolvido:

Desenvolvimento de um sistema de gaseificação de biomassa acoplada a uma célula a combustível de SOFC.

Duração: 2008-2012

Objetivos:

- Produção de um gás com a qualidade requerida pelas células a combustível de óxido sólido, a partir da gaseificação da biomassa.

Metodologia:

- Revisão bibliográfica sobre o estado da arte de SOFC;
- Modelagem dos processos de gaseificação: reforma e uso do gás na SOFC;
- Projeto e fabricação do gaseificador de biomassa em vários estágios;
- Montagem e testes do gaseificador de biomassa;
- Modificações do gaseificador e adaptação de instrumentação analítica (cromatografia gasosa);
- Análise dos gases do gaseificador;
- Projeto de construção e testes de um sistema de limpeza catalítica e purificação do gás;
- Avaliação da qualidade do gás após o sistema de limpeza;
- Construção ou seleção e testes do reformador;
- Modelagem do conjunto gaseificador/sistema de limpeza/reformador/célula a combustível.
- Integração e testes do sistema gaseificador/sistema de limpeza/SOFC.
- Avaliação do conjunto gaseificador/sistema de limpeza/reformador/célula a combustível.

Resultados:

- Protótipo do sistema de gaseificação com limpeza dos gases. Não houve o acoplamento do sistema
- 1 tese de doutorado;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;
- 1 artigo em revista internacional;
- 6 artigos em congressos internacionais;

A Figura 2.17 ilustra os resultados obtidos no projeto.

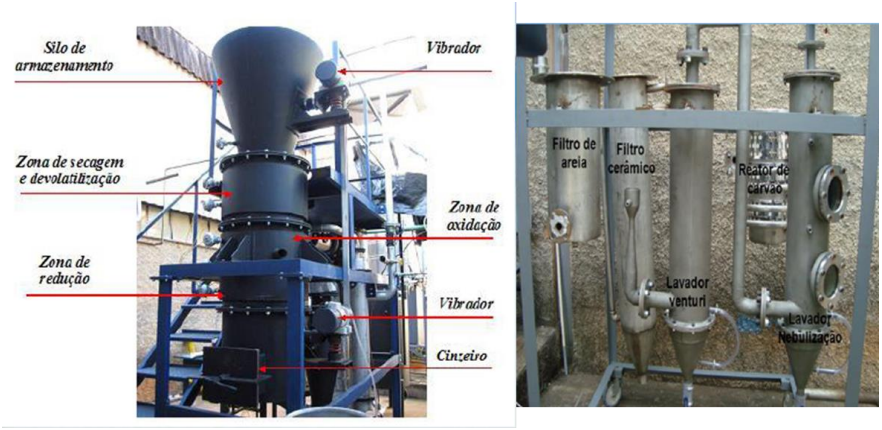


Figura 2.17 – Ilustração dos resultados do P&D 237.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema e também ao desenvolvimento de recursos humanos especializados, assim como na possibilidade de pesquisas posteriores. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 272

Referência: Silva, Silva e Hosami (2013)

Título: Desenvolvimento de modelo para iniciativas de inclusão digital utilizando tecnologia *power line communication* de banda larga e tecnologias complementares uma abordagem sócio e tecnológica

Instituições envolvidas: FITec

Coordenador do Projeto: Adriano Xavier Pimentel

Gerente do Projeto (Cemig): Elson Lima Bortolini da Silva

Contato atual: elsonl@cemig.com.br

Contexto:

O projeto foi uma oportunidade de atendimento às necessidades do setor elétrico, possibilitando o estudo e a avaliação de desempenho dos equipamentos PLC, a criação de modelos de implantação de serviços de inclusão digital e a determinação de índices de desenvolvimento das comunidades de acordo com estes modelos. Sendo assim, o produto deste projeto foi essencialmente um projeto piloto e integração de terminais de usuários que demonstram a possibilidade de inclusão digital e social através do uso de internet banda larga pela tecnologia de PLC (*Power Line Communication*).

Problema a ser resolvido:

Desenvolver *Power Line Communication* - PLC.

Duração: 2009-2013

Objetivos:

Objetivos de Desenvolvimento Tecnológico:

- Implantar uma rede de comunicação digital multimídia, abrangendo uma localidade desprovida ou precariamente assistida por sistemas de telecomunicação, utilizando a infraestrutura da rede de distribuição de energia elétrica e
- Desenvolver um modelo de referência de implantação de uma rede PLC banda larga para iniciativas de inclusão digital;
- Implantar pontos de acesso à rede em locais públicos.

Objetivos de Desenvolvimento Social:

- Atender às necessidades prioritárias de conexão da comunidade com ênfase ao atendimento às demandas das áreas de educação, saúde, segurança e serviços públicos, bem como iniciativas como apoio ao desenvolvimento econômico;
- Treinar e capacitar membros da comunidade na utilização de tecnologias digitais;
- Desenvolver taxonomia de indicadores de impacto relacionados aos projetos de inclusão digital;
- Avaliar os impactos da exposição das populações envolvidas ao acesso às facilidades e informações disponibilizadas pelo projeto;
- Desenvolver uma infraestrutura de comunicação autossustentável, que suporte novas camadas de serviços e aplicações de acordo com as demandas socioeconômicas da população local, bem como o suporte para ações governamentais e da iniciativa privada relacionados à inclusão digital.
- Desenvolver metodologia de avaliação do impacto de ações sociais

Metodologia:

- Planejamento geral do projeto;
- Elaboração de Especificações, contemplando as especificações da rede e dos equipamentos PLC, além das métricas de desempenho da rede PLC e dos serviços prestados;
- Definição do local de instalação do sistema;
- Implantação e testes da rede PLC em laboratório e em campo;
- Avaliação das demandas da sociedade em tecnologias digitais;
- Treinamento e Avaliação de impacto;
- Elaboração do relatório final do escopo técnico, incluindo um modelo de implantação de uma rede PLC banda larga para iniciativas de inclusão digital;
- Elaboração de relatório final do escopo social, incluindo uma metodologia de avaliação de impacto de ações sociais;
- Realização da transferência de tecnologia.

Resultados:

- Protótipo do PLC com metodologia para implantação;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;

A Figura 2.18 ilustra os resultados obtidos no projeto.

Figura 2.18 – Ilustração dos resultados do P&D 272.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 273

Referência: Venturini et al. (2015)

Título: Desenvolvimento de sistema frigorífico por absorção de vapor, acionado por energia solar, para aplicação em comunidades rurais

Instituições envolvidas: NEST/UNIFEI

Coordenador do Projeto: Osvaldo José Venturini

Gerente do Projeto (Cemig): Elson Lima Bortolini da Silva

Contato atual: elsonl@cemig.com.br

Contexto:

Este projeto também foi um desdobramento do P&D 001, abordando gargalos e oportunidades nos segmentos de sistemas de absorção para refrigeração.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver um protótipo de sistema de absorção usando com fonte solar de energia.

Duração: 2010-2014

Objetivos:

- Desenvolver de um sistema de refrigeração por absorção de vapor, com capacidade de 10 kWt, acionado por energia solar.

  Também podem ser citados como objetivos secundários os seguintes tópicos:

  (i) Levantamento das necessidades de frio de comunidades rurais;

  (ii) Modelagem computacional do comportamento do sistema refrigeração por absorção, integrado aos coletores solares; e

  (iii) Desenvolvimento de uma ferramenta capaz de efetuar a análise técnico-econômica de sistemas de refrigeração por absorção de vapor, do tipo H2O/NH3, acionado por energia solar.

Metodologia:

- Pesquisa bibliográfica sobre o projeto de sistemas de refrigeração por absorção (H2O/NH3)
- Conhecimento sobre o perfil de carga térmica (necessidades de frio) de uma comunidade rural;
- Modelagem do sistema de refrigeração por absorção do tipo H2O/NH3, acionado por energia solar.
- Projeto da máquina de refrigeração por absorção de vapor;
- Projeto da instalação frigorífica;
- Construção de uma máquina de refrigeração por absorção de vapor de acordo com o projeto desenvolvido nas etapas anteriores;
- Montagem do sistema frigorífico.
- Realização de testes no sistema de refrigeração por absorção construído.
- Validação do modelo desenvolvido.

Resultados:

- Protótipo do sistema de refrigeração por absorção. Não houve instalação acoplada a sistema solar, somente o projeto;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;

A Figura 2.19 ilustra os resultados obtidos no projeto.

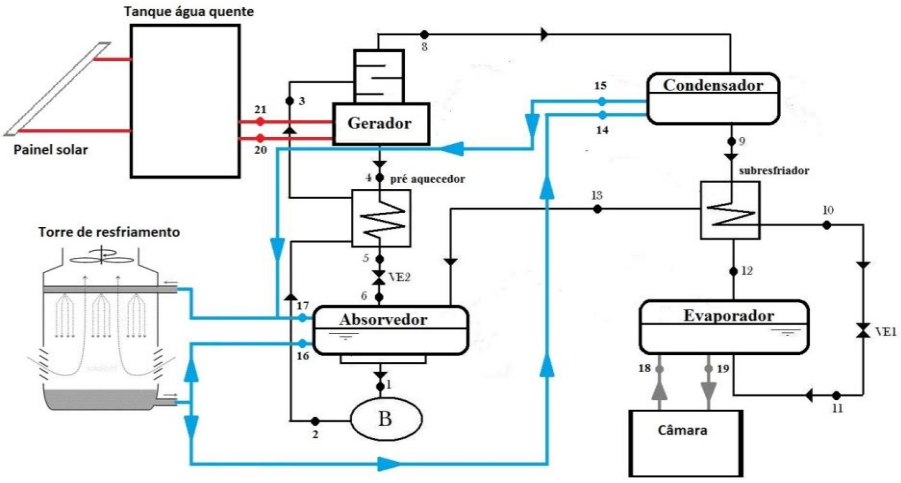


Figura 2.19 – Ilustração dos resultados do P&D 273.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 288

Referência: Silva, Madureira e Soares (2015)

Título: Desenvolvimento de catalisadores para produção de hidrogênio

Instituições envolvidas: FEQ/UFU

Coordenador do Projeto: Ricardo Reis Soares

Gerente do Projeto (Cemig): Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

O projeto de P&D 108 pesquisou sobre a reforma de etanol. Entretanto, o catalisador utilizado no processo de reforma foi o mesmo que comumente é aplicado ao processo de reforma de gás natural. Daquele projeto surgiu a possibilidade de se explorar o desenvolvimento de um catalisador específico. Entretanto, quando o projeto de P&D 288 se iniciou, o assunto de reforma de etanol havia arrefecido, abrindo então a possiblidade de desenvolvimento a outros insumos. Na época, o glicerol, resíduo do processo de produção de biodiesel, se mostrou atraente e promissor e então o projeto direcionou esforços para essa área.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver um catalisador aplicável para a reforma de biomassa (glicerol) para a produção de hidrogênio.

Duração: 2009-2012

Objetivos:

- Desenvolver rotas catalíticas e catalisadores viáveis;
- Levantar dados operacionais visando tornar ótima a reação de reforma;
- Realizar análises econômicas e termodinâmicas;
- Customizar e realizar ensaios experimentais em um protótipo de reformador.

Metodologia:

- Estudo da Bibliografia Disponível e Definição das Rotas Viáveis;
- Estudo das Reações Químicas Envolvidas no Processo de Reforma de Biomassa;
- Testes em Escala de Laboratorial dos Catalisadores na Reação de Reforma de Biomassa;
- Otimização do Sistema para a Reação Global
- Realização dos Testes Catalíticos Finais
- Análise, Modificações e Testes Experimentais do Protótipo;
- Análise Econômica dos Reformadores: Determinação do custo de produção de Hidrogênio;
- Conclusões e elaboração do Relatório Final.

Resultados:

- Metodologia para produção de catalisador;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;

A Figura 2.20 ilustra o projeto.

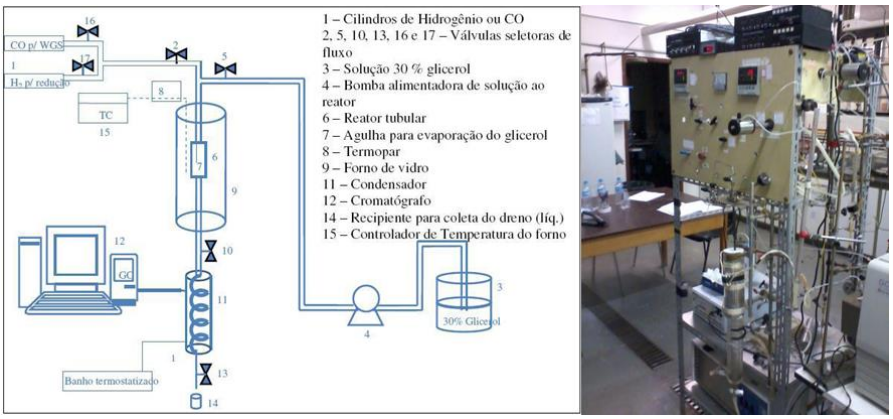


Figura 2.20 – Aparato experimental para o P&D 288.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 291

Referência: Domingues et al. (2015) e Madureira, Domingues, Matêncio, Nascimento, Almeida e Silva (2015)

Título: Desenvolvimento de um protótipo de pilha a combustível de óxido sólido com potência de geração de 1 kW

Instituições envolvidas: Departamento de Química/UFMG

Coordenador do Projeto: Rosana Domingues Zacarias

Gerente do Projeto (Cemig): Alaíse Junia Vieira Madureira

Contato atual: alaise.madureira@cemig.com.br

Contexto:

Este projeto foi uma continuidade dos desenvolvimento realizados no P&D 097, na expectativa de alavancar um produto comercial aplicável ao contexto da geração distribuída e da economia do hidrogênio.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver uma célula a combustível do tipo SOFC de 1 kW.

Duração: 2009-2012

Objetivos:

- O objetivo principal do projeto foi o desenvolvimento de um protótipo de pilha a combustível de óxido sólido com potência de geração de 1 kW. Além disso, o projeto visou, entre outros, o desenvolvimento da tecnologia nacional para síntese, conformação e sinterização de sistemas cerâmicos destinados à elaboração dos materiais de anodo, catodo e eletrólito que serão empregados nas células unitárias das PaCOS e a formação de mão-de-obra especia-lizada para desenvolvimento e fabricação deste tipo de pilhas no Brasil.

Metodologia:

- Empregou-se uma metodologia de *scale-up* em que o estudo de otimização foi feito inicialmente em células botões com 20 mm de diâmetro e aplicado, posteriormente, em células de 80 mm utilizadas no protótipo. O projeto gerou como produtos principais dois protótipos. A construção e o acionamento dos protótipos de PaCOS com geração de potência superior a 100 W colocam o LaMPaC e a Cemig como pioneiras no Brasil em pesquisas nesta área. Este é o primeiro relato de testes com PaCOS capaz de fornecer esses valores de potência.

Resultados:

- Metodologia para produção de pós cerâmico;
    - dois protótipos de PaCOS. O primeiro protótipo, sendo que um deles foi constituído de um módulo com três células. O segundo foi formado por dois módulos, sendo um com duas e o outro com três células.
    - As células unitárias são os componentes principais dos protótipos. Cada célula unitária utilizada no protótipo teve diâmetro de 8,0 ± 0,1cm. Elas

eram compostas pelo anodo coletor de óxido de níquel e zircônia estabilizada com ítrio, NiO/YSZ, anodo funcional também de NiO/YSZ, eletrólito de YSZ e de Cério dopado com Gadolínio CGO, catodo funcional de Cobaltita de lantânio dopada com estrôncio e ferro, LSCF, e catodo coletor também de LSCF.

- 4 dissertações de mestrado
- 3 teses de doutorado;
- 8 artigos em revistas internacionais;
- 9 artigos em congressos nacionais;
- 2 artigos em congressos internacionais;

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema, principalmente na formação de recursos humanos especializados. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

A Figura 2.21 ilustra o projeto.

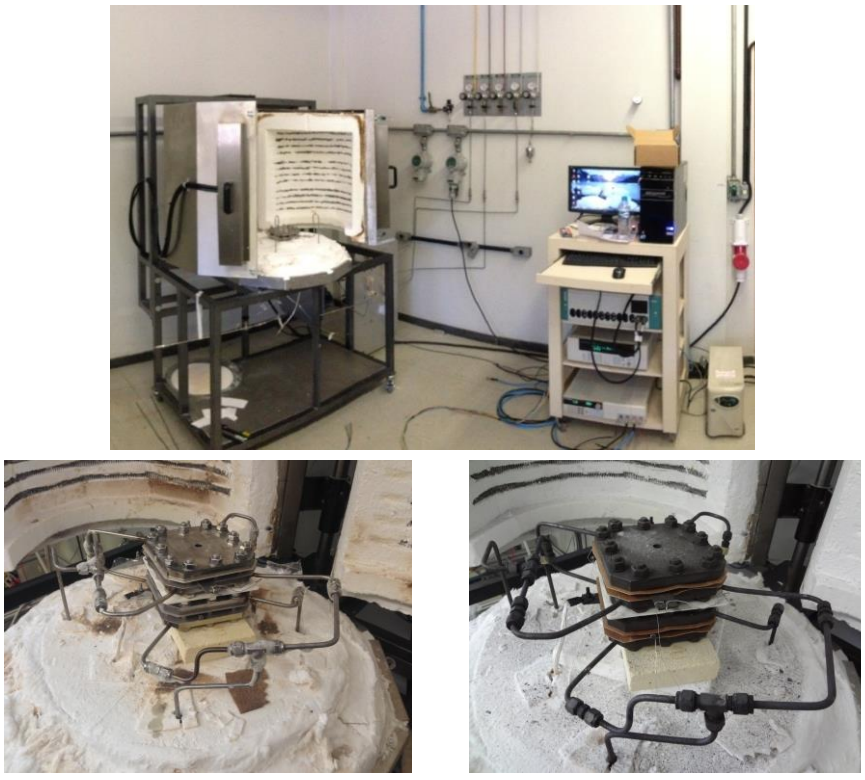


Figura 2.21 – Desenvolvimento experimental do P&D 291.

P&D 292

Referência: Sodré et al. (2013)

Título: Desenvolvimento de um sistema de alimentação de hidrogênio para motor de combustão interna para aplicação estacionária

Instituições envolvidas: PUC Minas

Coordenador do Projeto: José Ricardo Sodré

Gerente do Projeto (Cemig): Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

Os projetos de P&D 050 e 181 se ocuparam do desenvolvimento de rotas para a produção do hidrogênio para fins energéticos. A produção de hidrogênio do laboratório experimental associado a esses projetos não tinha uma destinação definida. Nesse sentido pensou-se no desenvolvimento de uma aplicação do hidrogênio e que fosse alternativa a células a combustível. Uma aplicação mais próxima das tecnologias atuais e que poderia se constituir nessa opção foi o desenvolvimento de motores a combustão interna que utilizassem o hidrogênio como combustível.

Problema a ser resolvido:

Adaptar um motor tetrafuel para utilizar como combustível o hidrogênio.

Duração: 2009-2012

Objetivos:

- Desenvolver um sistema de alimentação de hidrogênio para motores de combustão interna para aplicação estacionária (grupo motor-gerador).
- O principal resultado obtido foi um sistema de alimentação de hidrogênio para motores de combustão interna para aplicação estacionária, incluindo componentes eletromecânicos e software.

Metodologia:

- Planejamento da pesquisa; Revisão bibliográfica;
- Preparação dos experimentos no grupo gerador;
- Simulação numérica do motor;
- Montagem das sala para o dinamômetro de bancada;
- Análise de resultados do Ano 1 e transferência anual de resultados para a Concessionária;
- Experimentos no grupo gerador;
- Validação do modelo numérico do grupo gerador;
- Preparação dos experimentos no dinamômetro de bancada;
- Análise de resultados do Ano 2 e transferência anual de resultados para a Concessionária;

- Experimentos no dinamômetro de bancada;
- Experimentos no grupo gerador; Análise de resultados do Ano 3 e transferência final de resultados para a Concessionária.

Resultados:

- Protótipo: sistema de alimentação de hidrogênio para grupos geradores diesel
- Métodos e Processos: controle eletrônico para mistura hidrogênio/ar em motores diesel
- 5 dissertações de mestrado;
- 9 artigos em eventos internacionais;
- 1 artigo em evento nacional.

A Figura 2.22 ilustra o projeto.

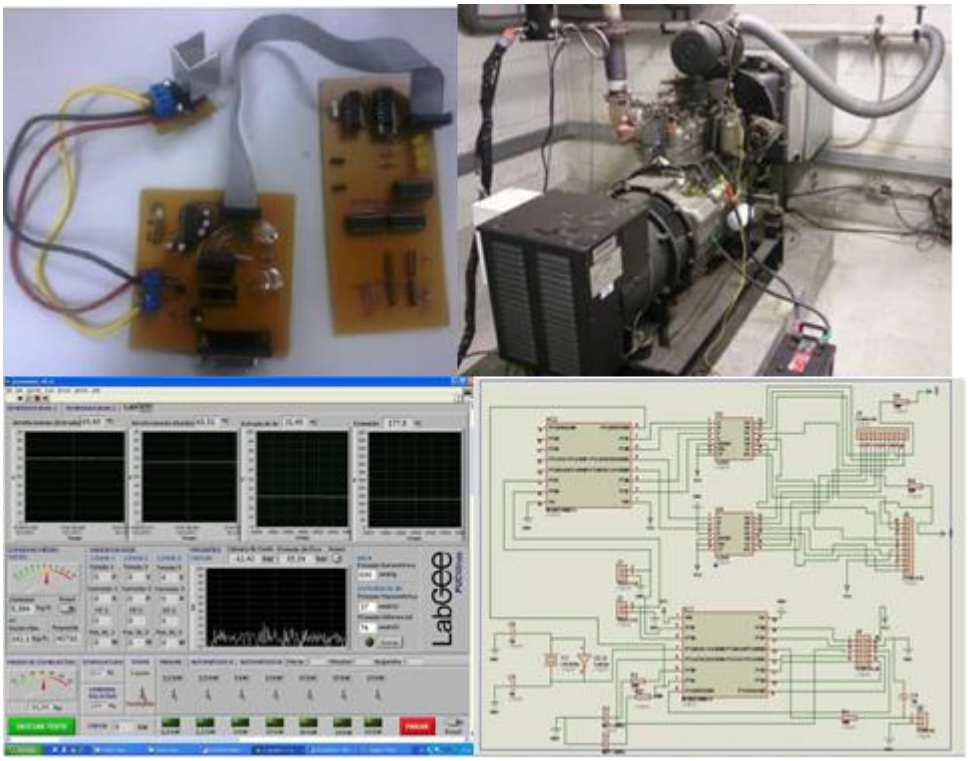


Figura 2.22 – Aparato experimental para o P&D 292.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 358

Referência: Barcelos et al. (2013), Carneiro, Donato, Barcelos, Valência, Cunha e Silva (2015) e Carneiro, Mendes, Castro, Silva, Cunha e Cândido (2015)

Título: Tecnologias integradas de transporte dos gases da carbonização da madeira de eucalipto e beneficiamento de subprodutos para co-geração de energia elétrica com microturbinas

Instituições envolvidas: ArcelorMittal Bioflorestas

Coordenador do Projeto: Augusto Valencia Rodriguez/ Wanderley Luiz Paranaiba Cunha

Gerente do Projeto (Cemig): Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

Na década de 2000-2010, a fonte biomassa teve bastante interesse. A busca por alternativas considerando: a utilização de resíduos como alternativa energética, a possibilidade de eficiência energética em recursos naturais e processo e também a redução de emissões. Nesse contexto, o setor siderúrgico, em especial, o setor de produção de carvão vegetal mereceu atenção especial, sendo objeto de diversas articulações e projetos.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver uma alternativa energética usando os resíduos da produção de carvão vegetal.

Duração: 2010-2014

Objetivos:

- Desta forma o objetivo principal do projeto foi desenvolver um sistema de cogeração integrado utilizando gases e resíduos do processo de produção de carvão vegetal.
- Os objetivos específicos perseguidos ao longo da execução do projeto estão indicados a seguir:
- Desenvolver uma base de conhecimento sobre os gases gerados durante a carbonização da madeira permitindo o desenvolvimento de um sistema de transporte eficiente dos mesmos dentro da UPC (unidade produtora de carvão).
- Construir um sistema protótipo de tubulações, exaustores, drenos, aquecedores, revestimentos, etc. que conduzam eficientemente os gases de carbonização gerados nos fornos até uma posição central na UPC onde estaria situada unidade de geração de energia elétrica.
- Construir e testar um protótipo do sistema de microturbina EFGT de cogeração.
- Dominar a emergente tecnologia de cogeração de energia elétrica com uso de microturbinas EFGT aplicada ao segmento específico das unidades de produção de carvão.

- Construir uma unidade geradora de energia elétrica de pequeno porte, com propulsão direta de turbina pela queima dos gases de carbonização, sem utilização de caldeira de vapor.
- Testar materiais diversos para o trocador de calor que faz parte da unidade geradora desenvolvendo tecnologia que assegura a durabilidade e a desempenho do sistema.
- Testar rendimentos do sistema gerador de energia para diversos padrões de eficiência do trocador de calor.
- Testar os limites de desempenho da turbina associados ao rendimento gerado considerando-se as temperaturas limites de trabalho e revestimentos de proteção térmica passíveis de aplicação.
- Estabelecer os parâmetros e malhas de controle do sistema para as condições de partida, aquecimento, aceleração, geração, parada.
- Estabelecer conjunto de fornecedores locais para os componentes de uma versão nacional do sistema gerador de energia elétrica com microturbinas EFGT incorporando os avanços da pesquisa.
- Desenvolver uma base de conhecimento sobre os resíduos sólidos gerados na cadeia produtiva do carvão vegetal de forma a permitir a coleta, o pré-processamento, o transporte eficiente, o beneficiamento, a classificação e a sua queima em fornalhas híbridas (biomassa/gás de carbonização) em unidades de geração de elétrica associadas a unidades de processamento de carvão (UPCs).
- Construir um protótipo móvel de classificação e pré-secagem de finos de carvão integrado ao processo produtivo de forma a realizar coleta dos resíduos no momento da descarga dos fornos.
- Construir uma central de processamento de resíduos de explorações florestais que pique, padronize e classifique os resíduos para ser utilizado na queima das fornalhas.
- Desenvolver uma fornalha híbrida (gás de carbonização/finos de carvão/resíduos de madeira que queime simultaneamente ou não resíduos sólidos e gás de carbonização).
- Capacitar tecnicamente o segmento industrial de produção de carvão vegetal como um potencial fornecedor de energia elétrica.

Metodologia:

- Avaliação do estado científico do problema junto com o desenvolvimento de modelagem matemática necessária;
- Projeto e Construção do sistema de transporte dos gases da carbonização, que inicialmente fez uso de um segmento de testes para definição construtiva;
- Avaliação de tecnologias de produção de energia, mapeamento de fornecedores e aquisição da turbina EFGT;
- Projeto e construção do sistema de cogeração;

- Inventário florestal e desenvolvimento de sistema de aproveitamento de biomassa florestal residual;
- Testes e ajustes integrais no sistema protótipo, juntamente com a elaboração de procedimentos operacionais e treinamentos de segurança;
- Análise técnica, econômica, ambiental e energética do sistema, revisão e consolidação de resultados do projeto.

Resultados:

- 9 artigos em eventos nacionais
- 1 dissertação de mestrado;
- 1 tese de doutorado;
- Protótipo de sistema de transporte de gases de carbonização;
- Protótipo de um sistema de cogeração;
- Metodologia: mapeamento de resíduos florestais e de produção de carvão para uso energético.

A Figura 2.23 ilustra o projeto.

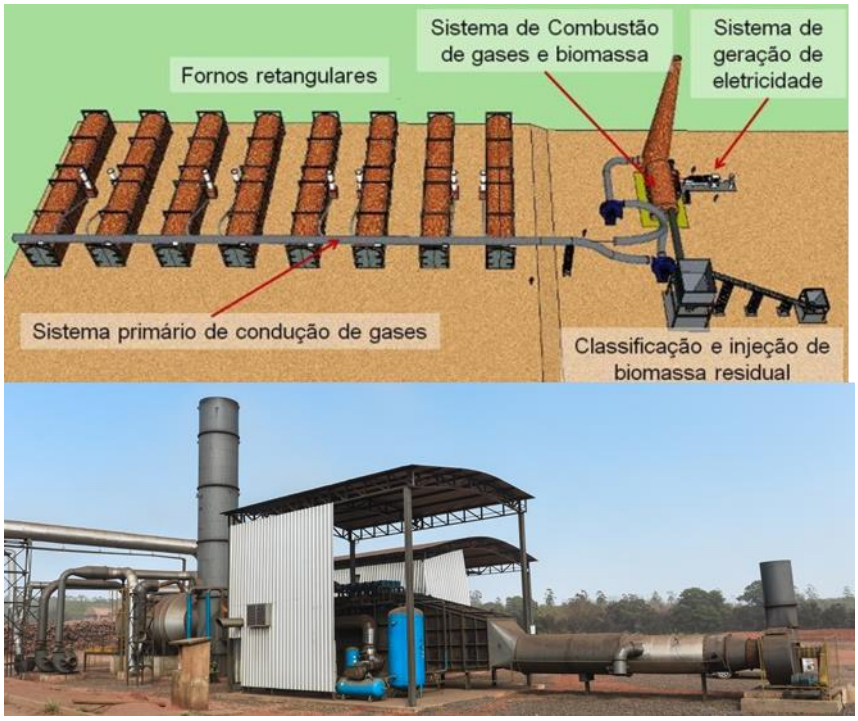


Figura 2.23 – Protótipo experimental de cogeração para o P&D 358.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Ao final do projeto avaliou-se a possibilidade de realização de pedido de patente, entretanto a ArcelorMittal já possuía desde 2010 um pedido que se constituía em anterioridade inviabilizando o pedido a ser feito dentro do contexto do P&D 358.

P&D 392

Referência: Documentação técnica do projeto

Título: Desenvolvimento de supercapacitor para utilização como buffer de bateria em carros elétricos

Instituições envolvidas: Nanum

Coordenador do Projeto: José Fernando Contadini

Gerente do Projeto (Cemig): Elson Lima Bortolini da Silva

Contato atual: elsonl@cemig.com.br

Contexto:

Os veículos elétricos conectados a rede elétrica se constitui em um importante pilar para as redes elétrica do futuro, chamadas de redes inteligentes. Nesse contexto, tecnologias que melhores ou viabilizem a aplicação de veiculo elétricos são bem vindas.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver um supercapacitor para utilização como *buffer* de bateria em carros elétricos.

Duração: 2011-2016

Objetivos:

- Desenvolvimento da confecção de supercapacitores a partir de materiais nanoparticulados, para a sua utilização como buffer de bateria para veículos elétricos ou híbridos. Tais produtos serão confeccionados com insumos e nanotecnologia nacionais, visando tanto o mercado interno quanto o externo.
- A utilização de titanato de bário nanoestruturado para a fabricação de pastilhas dielétricas para a fabricação dos supercapacitores;
- O desenvolvimento de uma técnica para criar poros em placas cerâmicas densas, através do uso de plasma para uma posterior deposição de um filme metálico;
- Indicar a melhor deposição de filme metálico, estudando a sua eficiência entre as técnicas de deposição eletrolítica, suspensão coloidal e pintura por impressão jato de tinta;
- Apresentar técnica de solda para o empilhamento de supercapacitores unitários em uma unidade de maior capacitância;

- Propor um encapsulamento plástico, que proporcione a proteção necessária para o funcionamento adequado dos supercapacitores;
- Apresentar um protótipo finalizado, após ensaios elétricos de alta carga simulando o seu uso como buffer de bateria para veículos elétricos ou híbridos.
- Ao final do projeto pretende-se que a Nanum e a CEMIG detenham a tecnologia de fabricação de um supercapacitador como eficiente sistema de armazenamento de cargas, desenvolvido com tecnologia nacional e com potencial para a construção de uma planta piloto para montagem de um produto em condições de ser aprovado para uso nas baterias dos sistemas de energia de motores híbridos e elétricos para veículos automotores.

Metodologia:

- Planejamento detalhado das atividades do projeto;
- Revisão bibliográfica e avaliação técnica mercadológica;
- Produção de pastilhas cerâmicas;
- Montagem do processo de aplicação de filme fino metálico e transferência tecnológica;
- Desenvolvimento de processo de empilhamento e solda das pastilhas, mais encapsulamento das pastilhas;
- Ensaios operacionais do supercapacitor em circuitos elétricos simulados.

Resultados:

- Protótipos funcionais de supercapacitor testados destrutivamente.
- Protótipos de supercapacitores disponíveis para as entidades parceiras.

A Figura 2.24 ilustra o projeto.

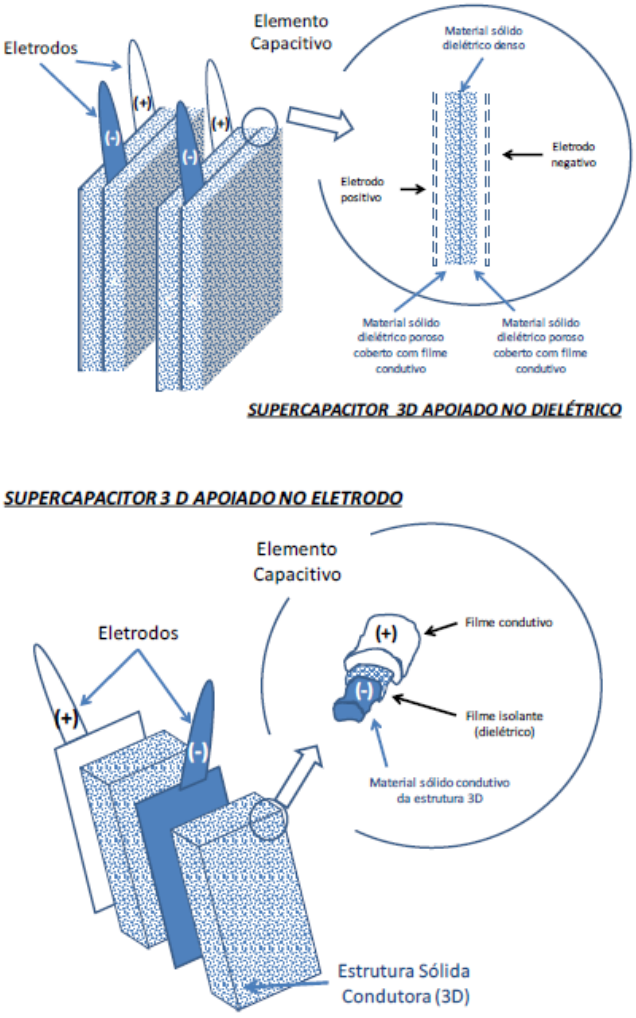


Figura 2.24 – Protótipo experimental de cogeração para o P&D 392.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 416

Referência: Madureira, Silva, Torres e Costa (2013)

Título: Desenvolvimento de processo e protótipos para craqueamento térmico para a conversão de resíduos poliméricos gerados no sistema elétrico da CEMIG

Instituições envolvidas: Verti Tecnologias

Coordenador do Projeto: Luiz Cláudio de Melo Costa

Gerente do Projeto (Cemig): Alaise Júnia Vieira Madureira

Contato atual: alaise.madureira@cemig.com.br

Contexto:

Dentre o painel de tecnologias aplicáveis a resíduos, a Cemig já havia investigado o tema de gaseificação. Entretanto, uma outra tecnologia, a pirólise, se apresentava promissora na produção de biocombustíveis e como tratamento térmico de resíduos. Este projeto foi uma oportunidade de atendimento às necessidades do setor elétrico e possibilitou o desenvolvimento de um processo que permita a recuperação de produtos gasosos, sólidos e líquidos, com alto valor agregado a partir do craqueamento térmico de resíduos poliméricos. Este processo será capaz de processar resíduos poliméricos complexos que contenham misturas de polímeros, outros componentes à base de metais, cerâmicas, aditivos, cargas e mesmo contaminações como óleos e graxas. O processo de craqueamento térmico não deve gerar resíduos. Espera-se que todos os produtos formados tenham valor comercial, mesmo as contaminações inertes, tais como cerâmicas e peças metálicas (normalmente vendidas à reciclagem).

Problema a ser resolvido:

Investigar o tratamento térmico, prioritariamente de resíduos poliméricos de concessionarias de energia elétrica usando a pirólise..

Duração: 2011-2013

Objetivos:

- Desenvolvimento de um processo e de 02 protótipos (2-20kg e 100-500kg) para craqueamento térmico para a conversão de diversos resíduos poliméricos em combustíveis que se assemelhem ao diesel ou GLP para uso em motores e motores geradores móveis ou estacionários.
- Mapeamento dos resíduos poliméricos gerados no sistema elétrico da CEMIG;
- Identificar os principais resíduos poliméricos gerados, como por exemplo, cruzeta de polietileno, materiais com borracha (luvas, mantas, etc.), materiais plásticos (capacetes, bastões, etc.);
- Identificar e localizar as principais fontes geradoras;
- Estimar a quantidade gerada de resíduos e quantidade média por fonte geradora;
- Identificar as principais destinações e tratamentos atuais dos resíduos poliméricos identificados;
- Identificar as características físico-químicas dos resíduos poliméricos;
- Dada a característica físico-química, identificar as limitações de desenvolvimento de pirólise de cada resíduo polimérico.

- Estudar em laboratório o craqueamento térmico dos diferentes resíduos poliméricos do sistema elétrico da CEMIG GT, realizando caracterização dos produtos líquidos, gasosos e sólidos obtidos;
- Estudar em laboratório o craqueamento térmico dos diferentes Blends de resíduos poliméricos do sistema elétrico da CEMIG GT, realizando caracterização dos produtos líquidos, gasosos e sólidos obtidos;
- Dimensionar, projetar, construir e operar o Protótipo 1 (planta para 2-20 kg de resíduo polimérico) para verificação dos parâmetros relevantes (cinética de reação, transferência de massa e de calor, definição dos equipamentos necessários, questões de segurança, dentre outros) para o dimensionamento do protótipo 2. Os combustíveis obtidos nesta fase do projeto serão caracterizados e testados quanto a suas propriedades combustíveis;
- Dimensionar, projetar, construir e operar o Protótipo 2 (planta para 100-500 kg de resíduos poliméricos -) para o levantamento de informações relevantes para o projeto industrial. Este Protótipo 2 poderá, em caso de interesse da CEMIG GT, se converter em um protótipo acoplado a uma pequena unidade operacional

Metodologia:

- Especificação e definição das análises a serem realizadas;
- Estudo e caracterização físico-química dos resíduos poliméricos gerados na Cemig GT;
- Pirólise Individual dos resíduos poliméricos e análise físico-química dos produtos gerados;
- Pirólise de Blends dos resíduos poliméricos e análise físico-química dos produtos gerados;
- Elaboração, instalação e operação do Protótipo 1 (2- 20kg);
- Elaboração, instalação e operação do Protótipo 2 (100-500kg).

Resultados:

- 2 protótipos de sistema de pirólise;
- 2 artigos em revista nacional
- 2 artigos em eventos nacionais.

A Figura 2.25 ilustra o projeto.

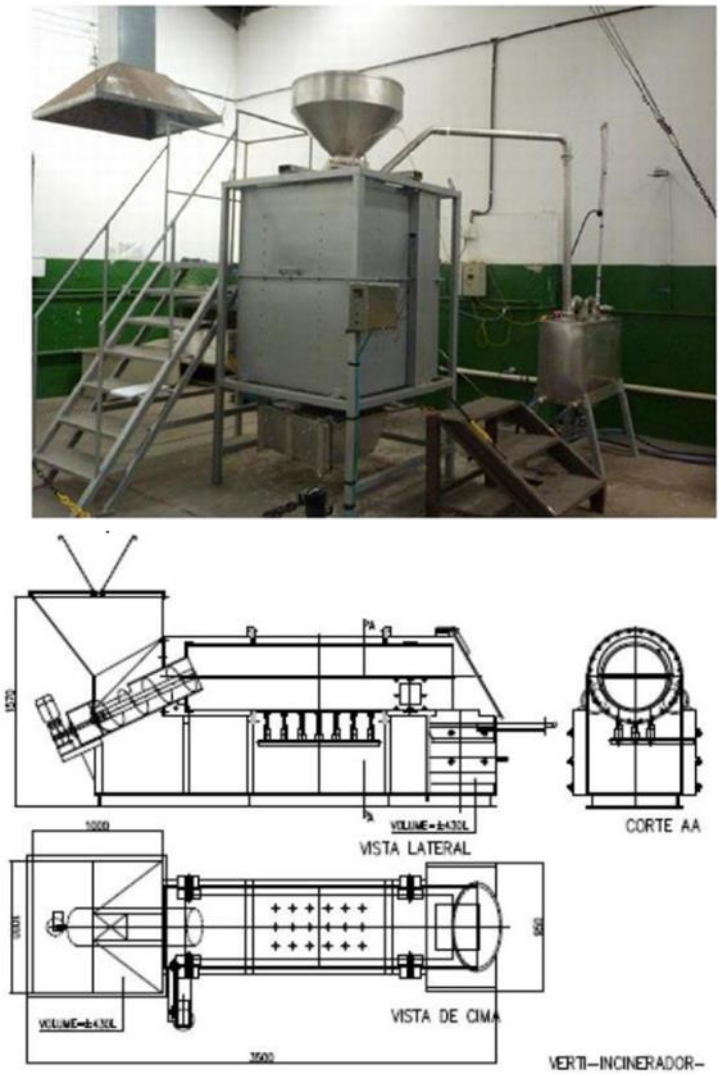


Figura 2.25 – Protótipo experimental de cogeração para o P&D 416.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 453

Referência: Colturato et al. (2015) e Silva, Coluturato e Souza (2013)

Título: Desenvolvimento de sistema de purificação do biogás visando a geração de energia elétrica a partir da metanização da vinhaça

Instituições envolvidas: Efficientia e Methanum

Coordenador do Projeto: Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato

Gerente do Projeto: Luiz Carlos de Souza (Efficientia)/CláudioHomero Ferreira da Silva (Cemig)

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

A fonte energética da biomassa, principalmente aquela associada a resíduos de processos se constituem na forma mais imediata de implantação de empreendimentos. A necessidade de redução de emissões, juntamente com a busca pela eficiência energética e dos processos, levou o setor sucroalcooleiro a se tornar um setor sucroenergético. Nesse sentido, a implantação em larga escala de cogeração usando bagaço de cana, a busca por rotas tecnológicas para etanol celulósico e também o aproveitamento energético do biogás oriundo da vinhaça, se apresentam como opções importantes a serem avaliadas e desenvolvidas.

Problema a ser resolvido:

No caso da vinhaça produzida em usinas de açúcar ou de açúcar e etanol, devido ao processo de clareamento do açúcar (que usa enxofre), o biogás se torna inadequando para uso devido elevado teor de gás sulfrídrico. O desafio do projeto foi desenvolver um sistema de purificação para este biogás.

Duração: 2010-2014

Objetivos:

- Projetar, construir e operar uma unidade de dessulfuração químico-biológico para a purificação do biogás com altas concentrações de gás sulfídrico (H2S), de forma a viabilizar a geração de energia elétrica e aproveitamento térmico a partir de plantas de metanização da vinhaça.

Metodologia:

- Planejamento da Gestão do Projeto
- Concepção da Engenharia da Unidade de Dessulfuração;
- Construção e start-up da Unidade de Dessulfuração;
- Operação em contínuo da Unidade de Dessulfuração;
- Estudos de Biotecnologia para sequenciamento genético da microbiota;
- Balanço de massa e energia da Unidade de Metanização e Dessulfuração.

Resultados:

- 1 protótipo, contemplando também um laboratório e metodologia;
- 1 tese de doutorado;
- 1 dissertação de mestrado;
- 2 artigos em revistas nacionais;
- 2 artigos em eventos nacionais;

- 2 artigos em eventos internacionais.

A Figura 2.26 ilustra o projeto.

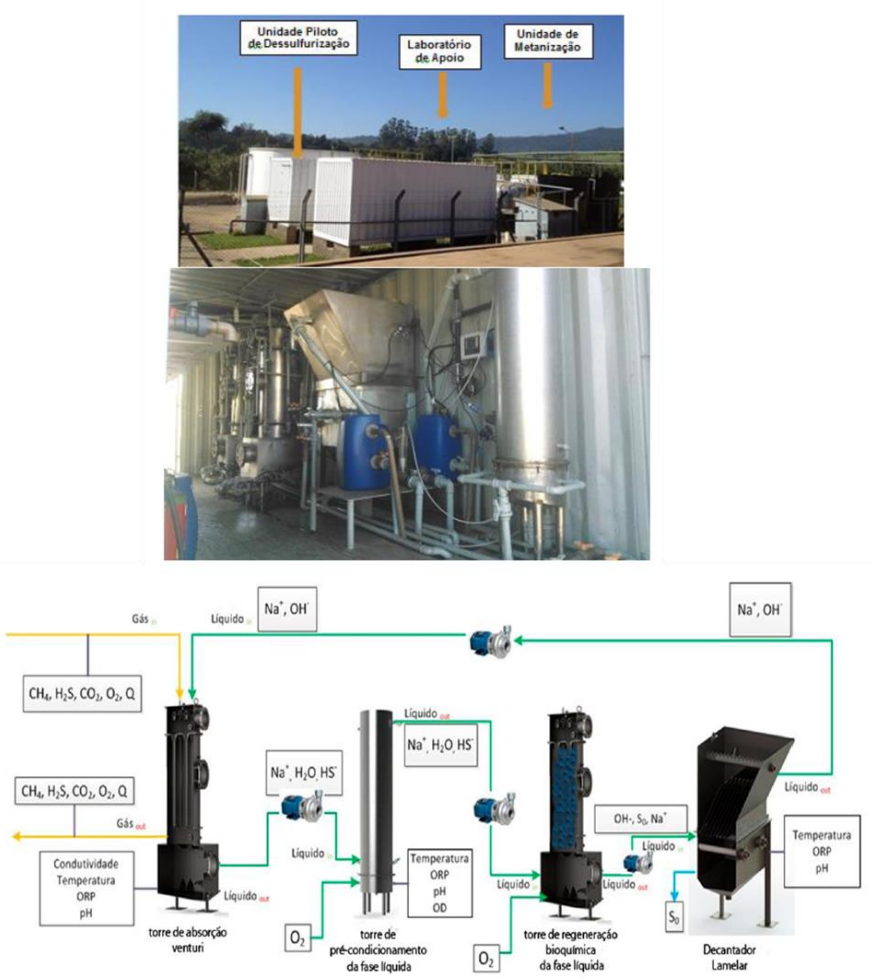


Figura 2.26 – Protótipo experimental de cogeração para o P&D 453.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Após o encerramento do projeto avaliou-se a possibilidade de patenteamento, mas não houve avanço no sentido de se efetivar um pedido de patente.

P&D 468

Referência: Silva, Costa, Almeida, Porto, Tibá e Reis (2013)

Título: Desenvolver um sistema para cálculo do potencial de instalação de usinas solares fotovoltaicas (FVs) e termoelétricas solares de grande porte

Instituições envolvidas: PUC Minas

Coordenador do Projeto: Ruibran Januário dos Reis

Gerente do Projeto (Cemig): Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contato atual: chomero@cemig.com.br

Contexto:

Em 2010, a Cemig havia realizado o mapeamento do potencial energético dos ventos no estado de Minas Gerais. Considerando as questões associadas principalmente a geração distribuída, a próxima fronteira seria a fonte solar. Nesse aspecto, a cidade de Belo Horizonte se destacava pelo uso de painéis solares para aquecimento de água. Contudo, levando-se em consideração as tendências regulatórias e também de planejamento para incentivo e implantação de sistemas térmossolares e fotovoltaicos, encontra-se aqui uma oportunidade para aprofundar os conhecimentos sobre essa fonte, de forma a se detectar as oportunidades nesse tema.

Problema a ser resolvido:

Mapear o recurso solar no estado de Minas Gerais, tendo como referência a implantação de grandes empreendimentos.

Duração: 2011-2016

Objetivos:

- Instalar cinco estações climatológicas especiais para criar um banco de dados a ser utilizado na calibração de modelos de estimavas de radiação solar;
- Utilizar técnicas de geoprocessamentos para a espacialização num banco de dados com todos os parâmetros meteorológicos;
- Cruzar os mapas de altimetria, áreas de preservação e indígenas para identificar regiões com potencial de instalação de usinas solares;
- Calcular o potencial de radiação solar global, com base no histórico de dados das estações automáticas, e também a radiação solar global através de imagens de satélites;
- Elaborar o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, com detalhes sobre o histórico da utilização da radiação solar no mundo, nos tipos de processos de utilização para geração de energia, e finalmente na definição de áreas com potencial de instalação de usinas fotovoltaicas;
- Desenvolver ferramentas para a calibração de dados de radiação solar direta coletada nos pireliômetros das 5 estações instaladas, com dados calculados através de satélites;

- Calcular a estimativa do potencial de geração de energia fotovoltaica para cada mesorregião do Estado de Minas Gerais com base no dados de radiação solar disponível no banco de dados.

Metodologia:

- O Instituto Nacional de Meteorologia - INMET tem uma rede de 34 estações meteorológicas convencionais, que coletam dados diários de insolação, com histórico de mais de 35 anos. Entretanto, a rede de coleta de dados na faz medida da radiação solar. Em 2008, o INMET começou a instalar uma rede de estações automáticas com medições da radiação solar global.
- A implantação de uma rede solarimétrica com medição de radiação direta de ampla cobertura que abranja o estado de Minas Gerais, seja pela sua extensão, seja pela sua topografia acidentada (em partes consideráveis), é impraticável por razões econômicas.
- Com base na análise climatológica do estado, será feita uma pré-localização dos sítios mais favoráveis para instalação de estações com pireliômetros, que permitem a medição da radiação solar direta. Através de estudos anteriores, já se sabe que algumas regiões de Minas Gerais possuem um alto índice de insolação diária. Após uma visita in-situ para verificar as condições de proteção contra vândalos e roubos, suprimento de energia elétrica, possibilidade de conexão com modem telefônico e facilidade de acesso, entre outros, finalmente serão escolhidos os locais para 5 estações solarimétricas com medição de radiação direta. Não há necessidade de instalar um número maior de estações solarimétricas com mediação de radiação solar direta, pois a escolha dos locais para correlação levará em conta a climatologia do estado através da qual serão verificados os locais onde se tem maior e menor potencial de horas de sol diário.
- Os sensores que foram instalados tiveram que ser importados, portanto, para uma reposição rápida, de maneira que a série temporal não seja interrompida, foi prevista uma estação meteorológica completa de reserva. Além disso, a radiação solar direta em cada estação será medida de forma redundante utilizando piranômetro com banda de sombra, o que permitirá uma verificação semanal via internet da consistência dessas informações. Por razões técnicas e metodológicas, ambos os equipamentos foram posicionados manualmente de modo que será necessário um operador em base diária para cada estação, onde foi a leitura e manutenção da estação. Apesar de o sistema ser automático, a experiência de pesquisas semelhantes realizadas em outros países mostrou que o sistema possui um mecanismo de giro para acompanhamento do sol, e que às vezes ocasiona defasagem no posicionamento, e o equipamento não mede a radiação solar direta. A coleta de dados foi realizada durante o período de 3 anos.
- Assim, para o desenvolvimento deste projeto, foram utilizados todos os dados de radiação solar global e também de insolação, independentes do período ou do tipo de instrumentação utilizada. A radiação solar direta para todos os municípios de Minas Gerais será inferida após a calibração de algorítimos com os

dados das estações climatológicas especiais, que possuem sensores para mediação de radiação solar direta, e os dados do INMET e também de um banco de dados de imagens de satélites de 15 anos.

- Inicialmente será composto um acervo de dados consistentes de radiação solar global, medidos e calculados, para todo o estado de Minas Gerais. Nos estudos relacionados a climatologia, as Redes Neurais Artificiais – RNAs são de grande importância para a determinação de padrões climáticos, definição de mudanças de tendências, identificação de dados fora dos padrões (outliers), preenchimento de falhas nas séries históricas, extrapolação de dados estimados e relação funcional entre as variáveis climáticas. Assim sendo, no estágio seguinte, as RNAs foram utilizadas para interpolação dos dados dos 853 municípios de Minas Gerais. Além disso, foi empregado os métodos de interpolação do software ArcGis.
- Para assegurar a boa qualidade dos dados os sensores da estação solarimétricas, os sensores passaram por inspeções detalhada a cada ano, conforme os padrões de calibração do fabricante:
- ISO 9847 - Calibration of field pyranometers by comparison for a reference pyranometer;
- ISO 9059 - Calibration of field pyrheliometers by comparison for a reference pyrheliometer.
- A determinação das distribuições espacial e temporal da radiação solar incidente na superfície terrestre na faixa de comprimento de onda do espectro solar compreendendo o intervalo de 0,28 micron a 3 micra tem sido objeto de pesquisa desde o trabalho pioneiro de Angström.
- A calibração dos pireliômetros de campo foi realizada pela comparação das medidas deste instrumento com dados medidos pelo pireliômetro de cavidade. Tal instrumento segue o padrão e a escala pireliométrica internacionais. Os piranômetros serão calibrados através de três métodos, conforme descrito, a saber:
- (i) método da soma "shade-unshade" (Norma ISO 9846);
- (ii) método da comparação com piranômetro de referência (Norma ISO 9847) e
- (iii) método da comparação recíproca (método de Forgan).
- No método (i) os dados de piranômetros são comparados com dados de um pireliômetro de cavidade, que pode ser o pireliômetro de compensação de Angström, ou melhor, os pireliômetros de cavidade HF ou PMO-6. Durante a elaboração do projeto, serão feitas várias visitas a campo para monitoramento das coletas de dados e também será feita uma calibração dos sensores. As estações meteorológicas não possuem coleta de dados de pireliômetros, isto é, não há medição de radiação direta, somente de radiação global. Com base nos dados observados no período e na utilização de equações físico-matemáticas, será possível determinar os dados de radiação direta para todo o estado de Minas

Gerais. Este tipo de estudo ainda não foi feito para o Brasil e as referências bibliográficas mostram que há necessidade de especialistas para tratamento dos dados e também um grande conhecimento da climatologia para calibração dos modelos.

- Softwares de geoprocessamento foram utilizados no desenvolvimento do projeto para agregar as informações do relevo e da topografia na espacialização das informações meteorológicas. Para que se possa utilizar estes softwares e estabelecer uma base de dados de informações meteorológicas consistidas, serão necessários dados de relevo digital de 30 metros, com os quais se pretende eliminar as sombras das montanhas para deixar o mapa mais preciso.
- O desenvolvimento do sistema para cálculo do potencial de instalação de usinas solares FVs e termoelétricas solares de grande porte começou a ser feito no segundo e no terceiro ano da pesquisa, pois necessitava dos dados que serão coletados nos pireliômetros. Porém, até aquele momento, foi preciso ter uma análise de consistência dos dados existentes de radiação solar global e também de insolação. Os pireliômetros terão somente a finalidade de correlacionar os dados de radiação direta e global e consequentemente calibrar o modelo, já que os cálculos para todos os 853 municípios deverão utilizar as redes neurais, por conta das vantagens de inferência de múltiplas variáveis desta ferramenta computacional, da grande tolerância a falhas e porque permitem a modelagem direta do problema.
- O primeiro livro do Atlas Solarimétrico foi realizado de acordo com a metodologia a seguir:
- As etapas percorridas ao longo do desenvolvimento do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais estão mostradas na figura a seguir. De forma geral, as cores mais quentes representam trabalhos preparatórios ou produtos intermediários e os blocos em azul representam os produtos finais. As fases de levantamento, busca de informações e análise e sistematização das informações foram as mais árduas do projeto. Constituíram-se do levantamento, localização e busca de publicações que continham dados de radiação, de insolação, mapas solarimétricos, mapas climatológicos e fitogeográficos de Minas Gerais e estados limítrofes. Tais informações encontravam-se dispersas, tanto a nível geográfico como temporal.
- As fontes institucionais foram diversas, tais como: secretarias de agricultura, distritos meteorológicos, universidades, instituições energéticas, entre outras. Em função da necessidade da maior cobertura espacial e temporal possível, bases de dados com informações obtidas com sensores de diferentes classes de precisão, de distintas coberturas espaciais e períodos de medição diferentes foram consideradas, analisadas e consistidas. Essas informações foram organizadas, resultando em um banco de dados.
- O segundo Volume do Atlas Somarimétrico de Minas Gerais teve um objetivo totalmente científico, com apresentação de resultados de modelos de estimas de radiação solar através de imagens de satélites, explicação técnica do funcionamento e operacionalização das estações climatológicas especiais, detalha-

mento das equações que foram utilizadas para estimava do potencial de geração de energia para cada mesorregião de Minas Gerais.

Resultados:

- Atlas Solarimétrico do estado de Minas Gerais;
- Resumo do Atlas em formato A0;
- Atualização do Atlas em formato A0;
- Livro II do Atlas Solarimétrico
- 1 tese de doutorado;
- 2 artigos em revistas internacionais;
- 1 artigo em revista nacional;
- 3 artigos em eventos internacionais;
- 3 artigos em eventos nacionais;
- Software de Previsão de Cenários Climáticos;
- Software para Tratamento dos dados e Simulação do Potencial de Energia por Municípios em Minas Gerais;
- Software de coleta dos dados das estações automáticas.

A Figura 2.27 ilustra o projeto.

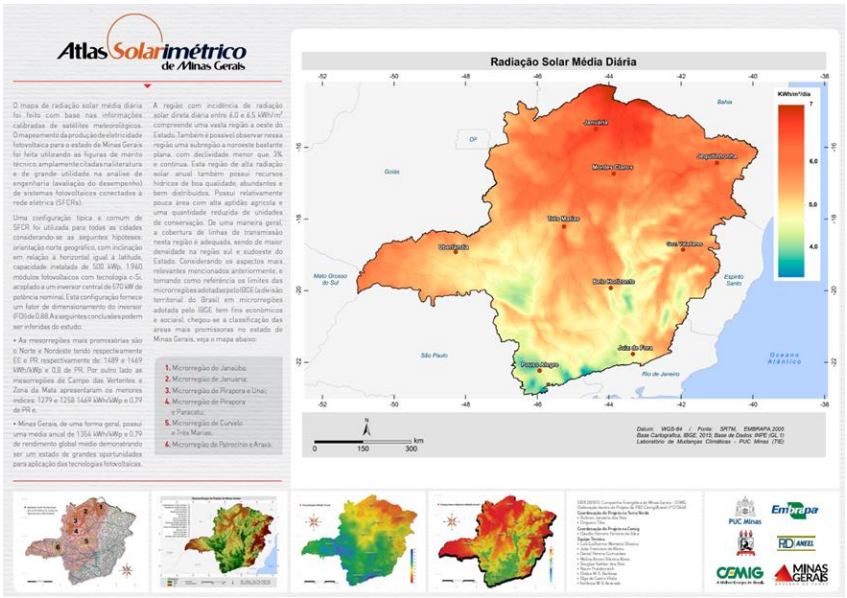


Figura 2.27 – Ilustração do P&D 468.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto estão associados ao levantamento de informações no tema. Não houve desdobramentos resultantes deste projeto.

P&D 474

Referência: documentação técnica do projeto

Título: Estabelecimento de Metodologia para a Matriz Energética de Minas Gerais

Instituições envolvidas: Fundação João Pinheiro

Coordenador do Projeto: Ronaldo Ronan Oleto

Gerente do Projeto (Cemig): Júlio César Ezequiel da Costa

Contato atual: alaise.madureira@cemig.com.br

Contexto:

Balanço energético (BE) é um documento através do qual é divulgada a contabilidade relativa à oferta e ao consumo de energia numa região, considerando as atividades e fluxos relacionados com a exploração e produção de recursos energéticos primários, à conversão em formas secundárias, às contas de importação e exportação, à distribuição e ao uso final da energia, geralmente com periodicidade anual. O Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEMG) é elaborado pela Cemig e coordenado pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE). Sua série histórica teve início em 1978. Apresentando dados sobre a matriz energética estadual, o BEEMG atua de forma a documentar e direcionar as políticas e programas voltados às questões energéticas, visando ao desenvolvimento sustentável de Minas Gerais. Ultimamente, percebeu-se que existia a necessidade de desenvolver uma metodologia mais moderna, aprimorada e abrangente para confecção do BEEMG, empregando técnicas mais recentes e avançadas de levantamento, consistência, preenchimento de falhas do histórico, confrontação, agrupamento, interpolação, inferência e extrapolação de dados, através de ferramentas matemáticas, estatísticas e métricas aplicáveis a séries temporais, a serem postas em prática nas edições seguintes do BEEMG.

Problema a ser resolvido:

Desenvolver metodologias aplicáveis ao Balanço Energético do estado de Minas Gerais.

Duração: 2011-2014

Objetivos:

- O objetivo deste trabalho foi estabelecer uma proposta metodológica para elaboração do BEEMG compatível com aquela desenvolvida pela EPE, incorporando melhorias e aprimoramentos ao documento, através do estabelecimento de correlações e métricas de conversão para geração de dados relativos à produção e consumo de energéticos em diversos setores (industrial, residencial, transportes, agropecuário, comercial e público), segundo especificidades de Minas Gerais. A metodologia proposta também considerou a totalização dos

consumos a partir dos dados fornecidos por agentes e empresas, num processo oposto ao historicamente adotado. O estado de Minas Gerais oferece condições bastante favoráveis para a diversificação da sua matriz energética, de acordo com a disponibilidade de fontes primárias renováveis e a complementariedade existente entre as diversas fontes energéticas. Em função disso, este projeto também pretende possibilitar a identificação, avaliação e proposição de oportunidades de uso de alternativas energéticas com o intuito de diversificar a matriz energética do Estado, através do aprimoramento do BEEMG.

Metodologia:

- Estudo do processo atual de elaboração do balanço energético de Minas Gerais
- Aplicação de métricas de conversão e levantamento de dados de energéticos e derivados (cana, carvão mineral, lenha, petróleo, gases siderúrgicos, eletricidade e outras fontes)
- Aplicação de métricas de conversão e levantamento de dados dos setores da economia mineira (agropecuário, comercial, industrial, público, residencial e transportes)
- Determinação de metodologia de amostragem segundo métodos estatísticos apropriados
- Coleta de dados segundo técnicas propostas, tratamento e validação dos dados obtidos
- Elaboração de metodologia de análise da participação e da oportunidade de produção das diversas fontes na matriz
- Levantamento, tratamento e validação de dados segundo metodologia proposta
- Apresentação e divulgação dos resultados

Resultados:

- A Fundação João Pinheiro desenvolveu uma metodologia para tratamento de dados que visa à contabilização energética no Estado de Minas Gerais, aplicando os conhecimentos de estatística e relações econométricas já utilizados por ela em pesquisas no setor econômico. Tal metodologia foi repassada à Cemig, via relatórios e contatos presenciais.
- Em termos de resultados, ao longo do desenvolvimento do projeto foram publicados dois BEEMGs (referentes aos anos base de 2009 e 2010; 25º e 26º, respectivamente). O BEEMG de 2011 (27º) teve os dados encaminhados pela FJP à Cemig em dezembro de 2012. O BEEMG de 2012 (28º) teve os seus dados apurados pela FJP junto às empresas informantes, que posteriormente foram extrapolados e encaminhados à Cemig. Nos BEEMGs citados foram incorporados gradativamente dados apurados e/ou a metodologia desenvolvida no decurso do projeto.

A Figura 2.28 ilustra o projeto.

Figura 2.28 – Balanços energéticos publicados na vigência do projeto P&D 474.

Benefícios:

- Algumas das alterações metodológicas sugeridas foram incorporadas a elaboração do BEEMG;
- O desenvolvimento do projeto suscitou e reforçou a ideia de se buscar novas metodologias para o BEEMG, sendo que no momento, encontra-se em avaliação a possibilidade de se utilizar a forma que a EPE utiliza no Balanço Energético Nacional. Tal opção é sujeita a negociação entre a EPE e o Governo de Minas Gerais.

P&D 496

Referência: Relatório Final do Projeto – Maio 2016

Título: Pesquisa e Desenvolvimento de Geração Sustentável de Energia Elétrica por Motogeradores com a utilização de Efluentes da Agroindústria do Carvão Vegetal na Cadeia Produtiva do Ferro-gusa.

Instituições envolvidas: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ondatec Tecnologia em Microondas S.A e Fundação Gorceix

Coordenador do Projeto: Paulo Santos Assis

Gerente do Projeto (Cemig): Alessandra Chagas Daniel

Contato atual: alessandra.daniell@cemig.com.br

Contexto:

A produção de carvão vegetal via pirólise gera resíduos altamente energéticos, que podem ser convertidos em eletricidade, reduzindo as emissões de poluentes para o meio ambiente. O projeto de P&D 358 promoveu um amplo estímulo para que as empresas de carvão vegetal procurasse a Cemig nos editais de pesquisa de forma a buscar apoio para desenvolvimento das tecnologias. Dentre elas, as empresas Plantar e Rima chegaram a negociar projetos que não foram contratados. Outro projeto que trata da mesma linha deste projeto foi o P&D 497.

Problema a ser resolvido:

Aproveitamento dos Resíduos provenientes da produção do carvão vegetal em processo de pirólise para geração de energia elétrica.

Duração: 2013-2016

Objetivos:

- Desenvolver um sistema de geração de energia elétrica sustentável a partir do gás efluente de fornos de pirólise contínua (carbonização) de biomassa (lenha de eucalipto) em locais distantes da rede de distribuição (florestas) e, consequente minimização dos impactos socioambientais na cadeia produtiva do carvão vegetal e ferro-gusa.

Metodologia:

- Revisão bibliográfica sobre os tipos de fornos de produção de carvão vegetal, apresentando as vantagens do uso da pirólise e introdução aos resíduos energéticos produzidos;
- Operação da UPEC-250 para levantamento e medições dos componentes da fumaça e efluentes líquidos;
- Construção e operação do sistema de recuperação do bio-óleo e gases não condensáveis;
- Produção científica, testes com os motogeradores, avaliação dos resultados, análise dos problemas, propostas das soluções, elaboração do estudo de viabilidade técnica e econômica das propostas, consequências e impactos ao sistema elétrico.

Resultados:

- Desenvolvimento de metodologia para utilização dos resíduos gasosos e líquidos provenientes da produção de carvão por pirólise para geração de energia.
- Protótipo;
- 2 dissertações de mestrado;
- 1 artigo técnico em congresso nacional;
- 1 artigo em revista internacional;

A Figura 2.29 ilustra o projeto.

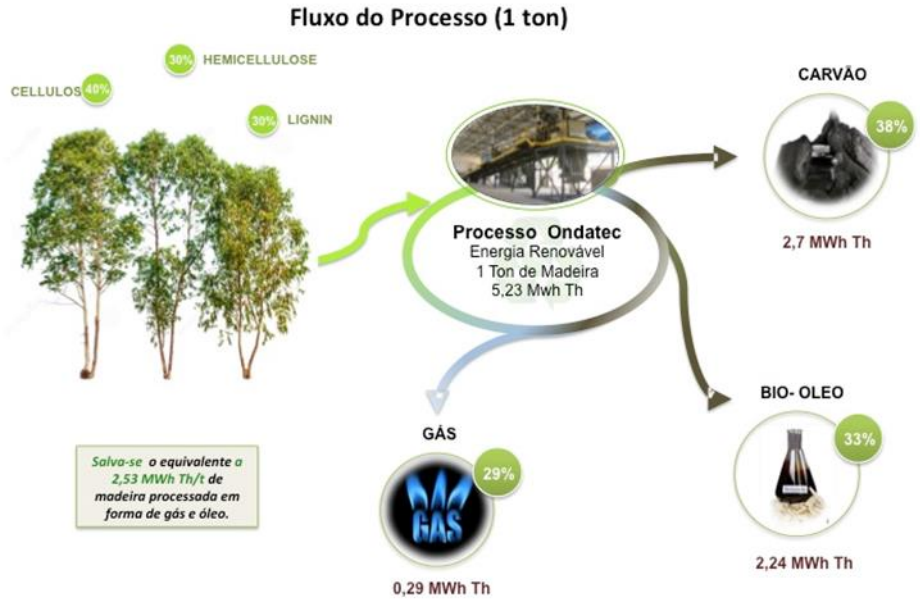


Figura 2.29 – Protótipo experimental de cogeração para o P&D 496.

Benefícios:

- Os maiores benefícios do projeto decorrem da capacitação e das informações obtidas através de seu desenvolvimento. Não houve desdobramento da pesquisa ou novo projeto por parte da Cemig até o momento. Este projeto permitiu elaborar os manuais de operação, desenvolver o sistema de controle com inteligência artificial, criou condições para que o processo apresentasse reprodutibilidade apesar da matéria prima não ser homogênea. Foi possível desenvolver procedimentos operacionais que permitirão à engenharia evoluir no desenvolvimento e na sua inserção nas empresas. Os ganhos foram visíveis para a tecnologia da empresa, da CEMIG que conta com uma nova possibilidade de geração com aproveitamentos dos efluentes da pirólise da indústria do ferro gusa e para a Universidade que participou da criação, montagem e funcionamento da planta industrial.

Consolidação de Resultados para Projetos Concluídos.

Para essa análise de consolidação será utilizado como balizamento os parâmetros da Tripla Restrição, nos segmentos:

- Custo;
- Prazo;
- Escopo e,
- Qualidade.

Custo

O valor total realizado nos 28 projetos concluídos foi de R$27.869.717,23. O valor médio deste conjunto de projetos foi de R$995.347,04. Entretanto é interessante realizar uma estratificação nesse conjunto de projetos, uma vez que eles foram executados sob condições diferentes, dadas pelas versões de Manual de P&D Aneel e também considerando direcionamentos estratégicos diversos nesse período. Dessa forma, serão considerados os projetos até 2008, de 2008 à 2016, sendo que os resultados encontram-se na Tabela 2.2. Essa estratificação será reproduzida nas demais análises. Torna-se evidente uma estratégia de projetos de maior porte. O valor médio dos projetos aumentou 74,88% do primeiro para o segundo período.

Tabela 2.2 – Análise dos valores dos projetos por período.

Parâmetro	2000-2008	2008-2016
Nº de Projetos	8	20
Valor Total	R$5.187.747,58	R$22.681.969,65
Valor Médio	R$648.468,45	R$1.134.098,48

Prazo

A Figura 2.30 mostra a distribuição temporal dos projetos, com informações complementadas através da Tabela 2.3.

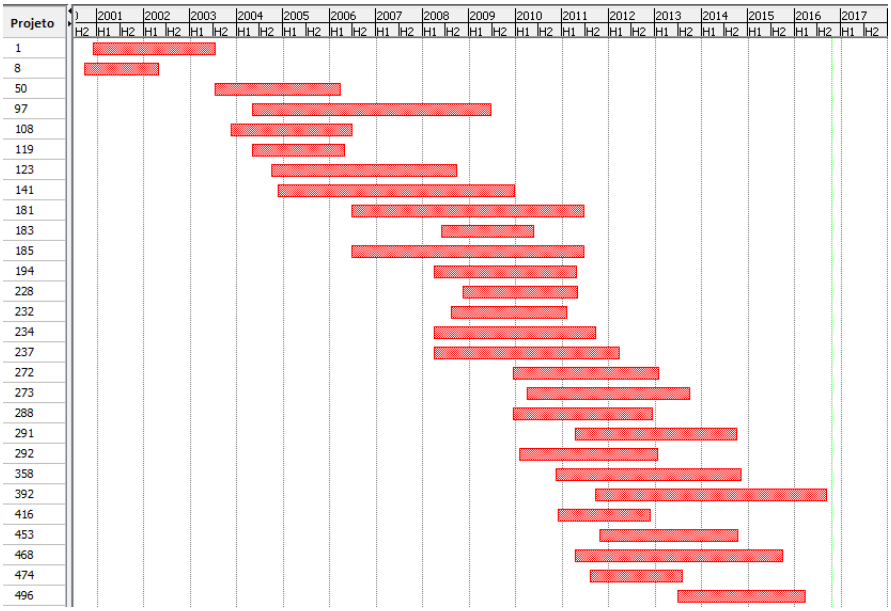


Figura 2.30 – Projetos concluídos ao longo do tempo.

Tabela 2.3 – Análise dos prazos de projeto por período.

Parâmetro	2000-2008	2008-2016	Total
Nº de Projetos	8	20	28
Prazo Médio	43	41	41
Projetos mais longos	60	60	60
Projeto mais curto	20	24	20

Escopo

Do ponto de vista do escopo, serão consolidados os resultados dos projetos nas dimensões: empresarial, científica e de capacitação, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 24-2.6 respectivamente.

Tabela 2.4 – Resultados da dimensão empresarial.

Resultado	2000-2008	2008-2016	Total
Nº de projetos	8	20	28
Metodologia	1	12	13
Laboratório	5	1	6
Software	0	7	7
Protótipo	10	21	31
Pedido de Patente	3*	2**	5#

*P&D 008: 2 pedidos que não avançaram por anterioridade. P&D 108: elaborado, mas tomada decisão empresarial de não patentear por simplicidade do dispositivo.** P&D 358 e 453 com processos em escritório especializado, mas com tendência de não serem depositadas.# Valor virtual associado a potenciais pedidos de patentes, uma vez que na prática esse resultado será nulo.

Considerando o conjunto de produtos (57), hipoteticamente haveria uma média de dois produtos por projeto. Para esse exercício, considerando o valor total investido, tem-se que para cada produto individual foi realizado um investimento de R$488.942,40.

Tabela 2.5 – Resultados da dimensão científica.

Resultado	2000-2008	2008-2016	Total
Nº de projetos	8	20	28
Artigos em Congresso	63	68	131
Artigos em Revista	20	19	39

Considerando principalmente o volume de recursos investidos, nota-se que no primeiro período havia um foco maior em resultados científicos e acadêmicos. Já na segunda parte, o foco se voltou para resultados empresariais.

Tabela 2.6 – Resultados da dimensão de capacitação.

Resultado	2000-2008	2008-2016	Total
Nº de projetos	8	20	28
Iniciação científica	2	1	3
Especialização	0	0	0
Mestrado	13	20	33
Doutorado	4	8	12
Pós-Doutorado	4	2	6

Tabela 2.7 – Consolidação geral.

Resultado	2000-2008	2008-2016	Total
Nº de projetos	8	20	28
Empresarial	16	41	57
Científico	83	87	170
Capacitação	21	31	52
Total de resultados	120	159	279
Investimento por resultado	R$43.231,22	R$143.653,89	R$99.981,45

Qualidade

Apesar de que alguns projetos foram realizados antes da desverticalização da Cemig, foi feita uma atribuição a esses projetos, situando-os nas empresas, de forma a se indicar a quantidade de projetos na Cemig GT e na Cemig D. Os valores obtidos forma:

- 8 projetos na Cemig D:
    - Quatro foram projetos de desenvolvimento experimental (DE), 3 de pesquisa aplicada (PA) e um de pesquisa básica (1);
    - No tipo de inovação nota-se: 2 de inovação em processo, 4 contemplando inovação de produto e 2 constando de inovação de produto e de processo;
    - 2 projetos foram de inovação incremental e 6 projetos de inovação radical;
    - 2 projetos tiveram continuidade em outros projetos e 6 projetos se encerraram neles mesmos;

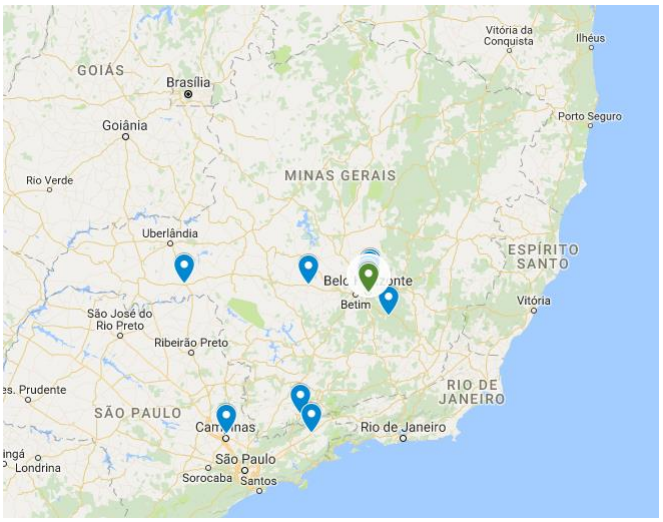
- Todos os projetos foram considerados como "sucesso" em termos de pesquisa. Entretanto nenhum deles foi capaz de desenvolver um produto que seguisse na cadeia de inovação.

- 20 projetos na Cemig GT.
  - 14 projetos foram de DE e 6 de PA;
  - No tipo de inovação nota-se: 4 de inovação em processo, 7 contemplando inovação de produto e 7 constando de inovação de produto e de processo;
  - 9 projetos foram de inovação incremental e 11 projetos de inovação radical;
  - 4 projetos tiveram continuidade em outros projetos e 16 projetos se encerraram neles mesmos
  - 19 projetos foram considerados como "sucesso" em termos de pesquisa. Entretanto nenhum deles foi capaz de desenvolver um produto que seguisse na cadeia de inovação. Um projeto obteve sucesso parcial, pois cumpriu apenas parte do que se esperava de seus resultados;

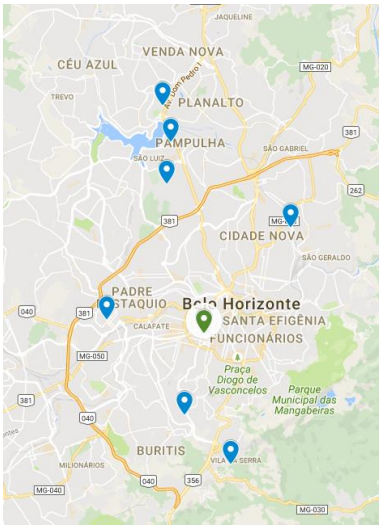
De maneira geral, todos os projetos realizados se constituíram em uma base conceitual e prática para posicionamento estratégico e em um conhecimento muito importante para o reconhecimento da Cemig como uma empresa inovadora e de vanguarda. A utilização deste conhecimento é realizada pelos profissionais que vivenciaram e executaram os projetos e que desenvolvem as suas atividades na Cemig. Na Tabela 2.8 é apresentada uma síntese dos parceiros nesse conjunto de proejtos. A Figura 2.31 indica a disposição no território brasileiro dos parceiros da Cemig.

Tabela 2.8: Parceiros da Cemig nos projeto de P&D concluídos.

Cemig D			Cemig GT		
Parceiro	**Nº de Proj.**	**Valor**	**Parceiro**	**Nº de Proj.**	**Valor**
FITEC	1	R$1.244.017,41	ArcelorMittal	1	R$6.360.654,47
NANUM	1	R$881.369,10	CENEH/Unicamp	1	R$725.908,24
PUC Minas	1	R138.017,26	CETEC	2	R$665.173,11
UFMG	2	R$2.523.160,52	Clamper/Unitech/USP	1	R$1.021.735,08
UNIFEI	3	R$1.188.044,66	FJP	1	R$732.800,75
			Hytron	1	R$454.203,44
			Methanum/Efficientia	1	R$793.317,26
			PUC Minas	2	R$2.850.103,59
			UFMG	5	R$4.435.607,69
			UFOP/Ondatec	1	R$1.479.794,05
			UNESP	1	R$144.416,38
			UNIFEI	2	R$1.498.000,18
			VERTI	1	R$733.394,04



(a)



(b)

Figura 2.31 – Localização dos parceiros da Cemig: (a) no território e (b) zoom para a região metropolitana.

Nota-se uma preponderância para parceiros localizados em Minas Gerais. Os parceiros com maior numero de projetos foram: UFMG e PUC Minas e UNIFEI. Já considerando os valores dos projetos, os principais parceiros foram: UFMG, ArcelorMittal e PUC Minas e UNIFEI.

Na Tabela 2.9 encontram-se os temas pesquisados. Na Cemig D, os maiores investimentos ocorreram em projetos sobre células a combustível, seguido pelo tema de PLC e eólica. Já na Cemig GT, os investimentos foram em: biomassa, célula a combustível e solar. O maior número de projetos encontra-se associado a biomassa, seguido por hidrogênio e células a combustível.

Tabela 2.9 – Consolidação de investimento por tema.

Cemig D			Cemig GT		
Tema	**Nº de Proj**	**Valor**	**Parceiro**	**Nº de Proj.**	**Valor**
Biomassa	1	R$607.403,84	Balanço Energético	1	R$732.800,75
Célula a Combustível	1	R$1.282.878,71	Biomassa	6	R$10.039.171,11
Eficiência	1	R$138.017,26	Célula a Combustível	5	R$4.478.454,21
Eólica	1	R$1.240.281,81	Cogeração	1	R$229.207,21
PLC	1	R$1.244.017,41	Gaseificação	1	R$757.767,96
RSU	1	R$215.165,81	Hidrogênio	4	R$2.303.416,62
Solar	1	R$365.475,01	Pirólise	1	R$733.394,04
Supercapaci-tor	1	R$881.369,10	Solar	1	R$2.620.896,38

2.4 Expectativa de Resultados de Projetos em Andamento

A Tabela 2.10 apresenta o tema dos projetos em andamento e a expectativa de resultados.

Tabela 2.10 - Sobre os projetos em andamento: observações e expectativas. (Elaboração própria).

Nº	Assunto	Observação
418	Gaseificação de RSU	Término previsto para meados de 2017
498	Sistema PVT	Término previsto para meados de 2017
553	Gestão da informação associado a fontes renováveis	Término previsto para meados de 2018
554	Cogeração no setor cimenteiro	Término previsto para meados de 2018
555	Modelos para previsão de ventos	Término previsto para meados de 2018
556	Otimização aplicada a matriz energética	Término previsto para meados de 2018
557	Atlas de biomassa de Minas Gerais	Término previsto para meados de 2017
713	Arranjos técnicos e comerciais para inserção da energia solar na matriz energética	Término previsto para meados de 2017
714	Arranjos técnicos e comerciais para inserção da energia do biogás na matriz energética	Término previsto para meados de 2017
717	Arranjos técnicos e comerciais para inserção da energia solar na matriz energética	Término previsto para meados de 2017

A seguir são listados os principais resultados esperados para os projetos da Tabela 2.2, de acordo com o previsto nos respectivos planos de trabalho.

P&D 418

Título: Gaseificação de resíduo sólido urbano para a geração de eletricidade

Instituições: UNIFEI, AG THERM

Coordenador do Projeto: Electo Eduardo da Silva Lora

Gerente do Projeto: Alessandra Chagas Daniel

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Protótipo em escala laboratorial de sistema de gaseificação de RDF (Sistema de geração de eletricidade composto de Gaseificador, sistema de limpeza do gás e motor de combustão interna, além de secador e briquetador para produção dos briquetes de lenha orgânica);
- 2 dissertações de mestrado;
- 2 teses de doutorado;
- 4 artigos científicos ;

P&D 498

Título: Desenvolvimento de solução PVT para aumento da eficiência de usinas solares

Instituições: Centro Universitário UNA

Coordenador do Projeto: Lucas Paglioni

Gerente do Projeto: Alessandra Chagas Daniel

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Protótipo solução PVT e um modelo de negócios para aquecimento de água distrital;
- Softwares e Sistemas Computacionais: Rotinas computacionais de dimensionamento, hidráulica de água quente, bombeamento em cascata, aquecimento auxiliar para sistema de aquecimento distrital.
- 2 dissertações de mestrado;
- Artigos científicos. Até o momento já são 2 artigos publicados: um em evento nacional e o outro e revista internacional.

P&D 553

Título: Gestão da Informação para fomentar a sustentabilidade da carteira de geração de energia elétrica na matriz energética da CEMIG e de Minas Gerais.

Instituições: DCI/UFMG

Coordenador do Projeto: Renata Maria Abrantes Baracho

Gerente do Projeto: Cláudio Homero Ferreira da Silva

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Software para estudo de viabilidade econômico-financeira usando técnicas de sistemas de informação;
- Dissertação de mestrado – concluído;
- Relatório de pesquisa em iniciação científica – concluído;
- Tese de doutorado;
- Artigos já publicados: 1 em periódico internacional; 1 em periódico nacional; 3 em congressos internacionais e 3 em congressos nacionais.

P&D 554

Título: Avaliação para o desenvolvimento do potencial cogeração no setor cimenteiro de Minas Gerais

Instituições: PUC Minas e EFFICIENTIA

Coordenador do Projeto: Felipe Raúl Ponce Arrieta

Gerente do Projeto: Cláudio Homero Ferreira da Silva

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Software para a modelagem técnica e econômica das alternativas tecnológicas para a cogeração no setor cimenteiro, de modo a poder realizar estudos de viabilidade de empreendimento, incluindo o modelo de negócio adotado;
- Metodologia para a estimação de geração de energia esperada ao longo da vida útil da planta, incluindo incertezas dadas a localidade da instalação e as características dos equipamentos; Procedimentos de operação e manutenção da usina e custos asso
- Uma dissertação de mestrado;
- 2 trabalhos de iniciação científica;
- Artigos científicos. Até o momento já foram feitas 6 submissões de artigos em congressos, sendo 2 internacionais e 4 nacionais.

P&D 555

Título: Desenvolvimento de modelos, métodos e sistema computacional para a previsão da velocidade do vento em horizontes de curto e longo prazo

Instituições: UFMG

Coordenador do Projeto: Ramiro Ruiz Cárdenas

Gerente do Projeto: Alessandra Chagas Daniel

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Nova metodologia para previsão de ventos;
- Software para previsão de ventos;
- 6 dissertações de mestrado;
- 4 trabalhos de iniciação científica de graduação;
- Ao menos 4 artigos científicos.

P&D 556

Título: Desenvolvimento de ferramentas computacionais de otimização multi-objetivo aplicadas ao problema da matriz energética considerando as incertezas dos cenários, impacto ambiental, e novas tecnologias

Instituições: UFMG

Coordenador do Projeto: Rodney Resende de Saldanha

Gerente do Projeto: Alessandra Chagas Daniel

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Metodologia para otimização da matriz energética;
- Software para desenvolvimento de cenários para matriz energética otimizada;
- 1 dissertação de mestrado;
- 1 tese de doutorado;
- Publicação de ao menos 2 artigos.

P&D 557

Título: Desenvolvimento de um Sistema para o Cálculo do Potencial de Geração de Energia através de Biomassa no Estado de Minas Gerais

Instituições: PUC Minas

Coordenador do Projeto: Ruibran Januário dos Reis

Gerente do Projeto: Cláudio Homero Ferreira da Silva

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Software de simulação para o potencial de energia da biomassa em Minas Gerais;
- Atlas de energia da biomassa do estado de Minas Gerais;

- 2 dissertações de mestrado;
- Artigos científicos.

P&D 713

Título: Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira – Proposta CEMIG, EFFICIENTIA E UFMG

Instituições: Efficientia, UFMG, COPEL, TBE, Alupar

Coordenador do Projeto: Eduardo Nohme Cardoso

Gerente do Projeto: Bruno Marciano Lopes

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Usina solar fotovoltaica experimental de 300 kWp;
- 2 teses de doutorado;
- 8 dissertações de mestrado;
- 20 trabalhos de iniciação científica de graduação;
- Ao menos 8 artigos científicos.

P&D 714

Título: Desenvolvimento de arranjos técnicos e institucionais para o aproveitamento de biogás, através da geração de energia elétrica, oriundo de resíduos sólidos urbanos

Instituições:

Coordenador do Projeto: Afonso Henrique Moreira Santos

Gerente do Projeto: José Alfredo Ramos Valverde (Endesa) / Cláudio Homero Ferreira da Silva (Cemig)

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- 2 trabalhos de especialização;
- 2 dissertações de mestrado;
- 2 teses de doutorado;
- Módulo de curso EAD como forma de divulgar informações científicas em biogás;
- Metodologia: Parâmetros de avaliação de aterros.
- Metodologia: Análise de dados operacionais de planta de geração a partir de biogás.

- Projeto piloto demonstrativo – Aterro sanitário Minas do Leão (propriedade da Endesa e do parceiro privado do projeto - Solví);
- 1 laboratório (Aterro de Itanhandú);
- Artigos científicos;
- 3 Livros.

P&D 717

Título: Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira

Instituições: Furnas, USP, CEI, CEB, COPEL, CPFL, Light, Baesa, TBE, TAESA, Transmineira, Cepel

Coordenador do Projeto: Maria Tereza Diniz Carneiro (CEI)

Gerente do Projeto: Claudio Güttler (FURNAS)/Bruno Marciano Lopes (Cemig)

Expectativa de Resultados:

- Relatório do projeto;
- Protótipo de caixa de junção inteligente;
- Protótipo de estrutura metálica com ângulos ajustáveis;
- Metodologia de projetos para plantas solares de grande porte;
- Metodologia de operação e manutenção para plantas solares de grande porte;
- Software e aplicativo contendo modelos simplificados para a estimativa de produção anual de energia solar;
- Artigos científicos.

Consolidação para a Expectativa de Resultados para Projetos em Andamento

Custo

Os 10 projetos em andamento possuem uma expectativa de investimento de R$5.789.797,33, tendo uma média de investimento de R$578,979,73 por projeto.

Prazo

A Figura 2.32 mostra a expectativa de realização dos projetos.

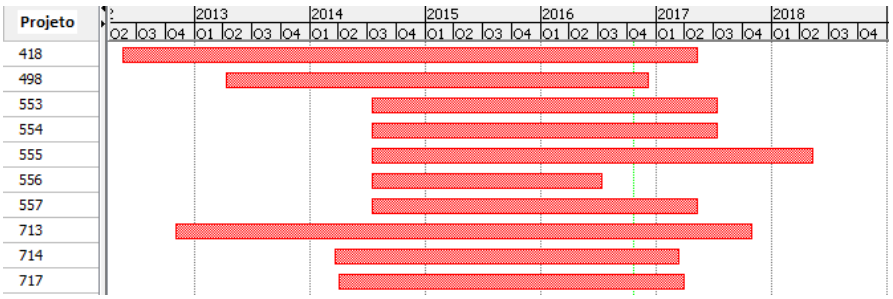


Figura 2.32 – Projetos concluídos ao longo do tempo.

Escopo

Do ponto de vista do escopo, é indicada a expectativa de resultados dos projetos nas dimensões, empresarial, científica e de capacitação, de acordo com o levantamento a presente data ou baseado nos produtos previstos em plano de trabalho – Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Expectativa de resultados para projetos em andamento.

Dimensões	Expectativa Resultado
Empresarial	
Metodologia	7
Laboratório	1
Software	8
Protótipo	15
Pedido de Patente	0
Científico	
Artigos em Congresso	15
Artigos em Revista	25
Capacitação	
Iniciação científica	27
Especialização	2
Mestrado	25
Doutorado	8
Pós-Doutorado	0
Total	133 itens

Qualidade

- 1 projeto na Cemig D:

- Desenvolvimento experimental (DE);
- Inovação em produto e processo;
- Inovação incremental;

- 9 projetos na Cemig GT.
  - 4 projetos foram de DE e 5 de PA;
  - No tipo de inovação nota-se: 5 de inovação em processo, 1 contemplando inovação de produto e 3 constando de inovação de produto e de processo;
  - 7 projetos foram de inovação incremental e 2 projetos de inovação radical;

A Tabela 2.12 mostra a expectativa de distribuição por tema.

Tabela 2.12 – Expectativa de investimento por tema em projetos em andamento.

	Cemig D		Cemig GT		
Tema	**Nº de Proj**	**Valor**	**Parceiro**	**Nº de Proj.**	**Valor**
Solar	1	R$2.011.806,57	Biogás	1	R$297.699,79
			Biomassa	1	R$1.335.138,88
			Cogeração	1	R$295.622,23
			Eólica	1	R$672.271,25
			Gestão da Informação	1	R$211.999,04
			Planejamento Energético	1	R$768.526,80
			RSU	1	R$2.473.662,49
			Solar	2	R$625.8918,58

O tema preponderante, assim como o valor de investimento encontra-se em projetos que tratam da energia solar (fotovoltaica).

2.5 Projetos Interrompidos

A seguir são indicados os projetos que foram contratados e tiveram a sua interrupção já durante a execução da pesquisa: P&D 482, P&D 470 e P&D 497.

P&D 482

Título: Projeto Mitigação de Efluentes Atmosféricos da UTE Barreiro com reaproveitamento do absorvedor de Fosfato de Cálcio no segmento da construção civil

Instituições: Fapemig, CEFET/MG e Neomatrix

Coordenador do Projeto: Sidney Nicodemos (CEFET)

Gerente do Projeto: Alaise Junia Vieira Madureira

Contexto: A proposta desta pesquisa era a construção de uma unidade piloto integrada para o tratamento do gás efluente da UTE Barreiro, sequestro de CO_2 e a

imobilização dos poluentes removidos em tijolos ecológicos (aprisionados em seu interior) nos possibilitariam avançar na pesquisa para uma etapa industrial (economia de escala). O projeto foi selecionado, tendo o Termo de Outorga (TO) ocorrido em Agosto/2012. Entretanto pela complexidade do arranjo institucional, uma vez que somente após o TO buscou-se o convênio com algumas das instituições essenciais para a pesquisa, o projeto sofreu atrasos significativos, inviabilizando a pesquisa e levando ao seu cancelamento por iniciativa dos parceiros no projeto. Durante a execução do projeto não se atingiu nenhum dos resultados previstos para o projeto.

Resultados:

- Este projeto não obteve nenhum resultado.

P&D 470

Título: Usina Experimental de Geração Solar Fotovoltaica de 3 MW - desenvolvimento tecnológico e mercadológico no contexto brasileiro em sistemas conectados à rede de distribuição.

Instituições: Solaria, UFMG.

Coordenador do Projeto: Selênio da Rocha/Eduardo Nohme (UFMG)

Gerente do Projeto: Bruno Marciano Lopes

Contexto: O projeto se enquadrava na demanda mundial por fontes de energia limpas e renováveis, bem como nas vantagens de se possuir uma matriz elétrica baseada em fontes variadas e em geração distribuída. A geração fotovoltaica no Brasil é usada apenas em sistemas de baixa demanda e isolados, a maior justificativa para este projeto era de alavancar a inserção dos agentes do setor elétrico no fomento a esta forma de geração, pois seria de interesse nacional o desenvolvimento desta tecnologia para que pudesse utilizar em sistemas integrados e de maior demanda, podendo participar de forma expressiva na matriz elétrica nacional. Esperava-se com o projeto a redução dos custos globais da geração fotovoltaica no Brasil por meio do melhor conhecimento do comportamento dos mesmos nas condições típicas do país (eficiência, longevidade, desempenho, recursos energéticos, mercado, etc), bem como pelo desenvolvimento de técnicas, metodologias e produtos inovadores. Em 2014 houve um desarranjo institucional inviabilizando a finalização do projeto. Entretanto ressalta-se que do ponto de vista da pesquisa, mesmo sem a conclusão da planta experimental e sua operação, o projeto alcançou resultados expressivos e interessantes, como serão apresentados a seguir.

Resultados:

- O P&D 470 foi formatado em várias frentes de pesquisa, tendo gerado vasto conhecimento técnico-científico, consolidados principalmente em metodologias. A relevância do projeto, ainda que não tenha chegado ao seu final pode ser evidenciada por alguns números: foram concluídos:
- 1 tese de doutorado;
- 9 dissertações de mestrado;

- 13 relatórios de iniciação científica;
- 1 trabalho de conclusão de curso;
- aprovados e apresentados 40 artigos científicos e pôsteres;
- Projetada uma usina solar fotovoltaica experimental.

P&D 497

Título: Desenvolvimento de Processo Integrado de geração de energia com aplicação do Ciclo Orgânico de Rankine na pirólise de resíduos e aproveitamento energético do produto carbonizado

Instituições: Fapemig, FCO, DESA/UFMG e Engenho9

Coordenador do Projeto: Gilberto Caldeira Bandeira de Melo (DESA/UFMG)

Gerente do Projeto: Cláudio Homero Ferreira da Silva

Contexto: Este projeto tratava-se de uma oportunidade de desenvolver tecnologia associada a produção de eletricidade usando resíduos sólidos. Havia um desenvolvimento prévio de uma tecnologia de pirólise de resíduos desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Minas Gerais. A proposta do projeto era a partir desta tecnologia de pirólise, intitulada Pirolix, que fosse acoplado um sistema de produção de eletricidade que utiliza o ciclo Rankine Orgânico (ORC). A finalidade essencial deste acoplamento estava associada com a melhoria de eficiência de conversão do processo, com consequente produção de eletricidade. O projeto foi iniciado em Agosto/2012 através de Termo de Outorga (TO) dado pela Fapemig, com duração de 24 meses, podendo ser estendido até 36 meses. Ainda em 2012, a equipe executora apresentou os produtos referentes às duas primeiras etapas de um total de sete etapas, contemplando a Revisão Bibliográfica e também o projeto do sistema. Entretanto a negociação de aquisição consumiu os 16 meses iniciais do projeto, havendo a necessidade de prorrogação ao seu limite de 36 meses, terminando o prazo de execução em Agosto/2015. A aquisição do equipamento ORC da empresa GMK na Alemanha foi formalizada em Janeiro de 2014, com previsão de entrega do equipamento no Brasil com disponibilidade da equipe do projeto em Agosto/2014. Não ocorreu a entrega do equipamento conforme previsto. Em Dezembro/2014 foi decidido em reunião da equipe pela interrupção do projeto no estágio em que se encontrava, devido ausência de condições para a realização da pesquisa dentro do prazo de vigência do TO. Em Janeiro/2015 foi constatada a falência da empresa alemã GMK. Durante a execução do projeto houve a publicação de um artigo e uma defesa de doutorado associados ao desenvolvimento do projeto. Nenhum outro resultado previsto foi alcançado.

Resultados:

- 1 Artigo em revista nacional;
- 1 tese de doutorado.

Resultados Obtidos nos Projetos Interrompidos

Custo

Os 3 projetos em interrompidos tiveram um investimento de R$13.066.779,89, sendo que mais de R$10 milhões referiam-se ao P&D 470.

Prazo

A Figura 2.33 mostra a expectativa de realização dos projetos.

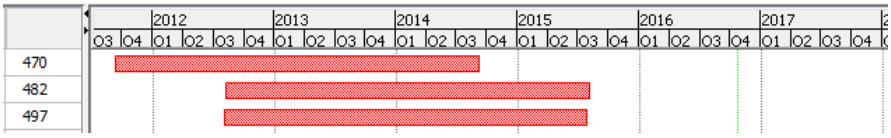


Figura 2.33 – Projetos concluídos ao longo do tempo.

Escopo

A Tabela 2.13 apresenta os resultados obtidos durante a vigência dos projetos.

Tabela 2.13 – Expectativa de resultados para projetos em andamento.

Dimensões	Expectativa Resultado
Empresarial	
Metodologia	0
Laboratório	0
Software	0
Protótipo	0
Pedido de Patente	0
Científico	
Artigos em Congresso	40
Artigos em Revista	1
Capacitação	
Iniciação científica	13
Especialização	0
Mestrado	9
Doutorado	2
Pós-Doutorado	0
Total	65 itens

Como os projetos não foram concluídos, não será feita análise quanto a qualidade dos resultados.

2.6 Projetos Cancelados

A Tabela 2.14 apresenta o tema dos projetos que foram formatados mas não foram contratados ou executados, com um breve comentário sobre o que motivou a não execução do projeto.

Tabela 2.14 - Sobre os projetos formatados e não contratados ou executados.

Nº	Tema do projeto	Considerações sobre a não execução
274	Janelas inteligentes	Desmobilização da equipe executora no parceiro logo após a formalização do convênio, inviabilizando a execução do projeto.
275	Pirólise do lixo	Desistência formal do parceiro.
289	Eficiência energética em comunidades rurais	Reposicionamento da área sobre o tema.
290	Biodiesel	Reposicionamento da área sobre o tema.
328	Motor Stirling solar	Reposicionamento da área sobre o tema.
357	Refrigeração usando biomassa	Reposicionamento da área sobre o tema.
359	Transporte de gases de carbonização	Incorporado ao P&D 358.
360	Aproveitamento florestal para cogeração	Incorporado ao P&D 358.
361	Desenvolvimento de gerador Rankine orgânico	Desmobilização da equipe executora no proponente.
391	Recarga de Veículos Elétricos	Reposicionamento da área sobre o tema.
393	Usina termelétrica solar	Parceiros não avançaram com a documentação de contratação.
415	Desenvolvimento de sistema de queima externa - EFGT	Desistência formal do parceiro.
417	Cabeça-de-Série: Stirling a biomassa	Reposicionamento da área sobre o tema.
454	Cabeça-de-Série: Aerogerador de pequeno porte	Reposicionamento da área sobre o tema.
467	Biodiesel de babaçu	Reposicionamento da área sobre o tema.
469	Cogeração usando gases de carbonização usando ciclo Rankine orgânico	Reposicionamento da área sobre o tema.
494	Aerogerador de eixo vertical	Parceiros não avançaram com a documentação de contratação.
500	Usina termelétrica solar	Resubmissão do P&D 393. Não avançou na contratação devido parceiros não apresentarem a documentação necessária para a contratação do projeto.
544	Energia do empuxo	Parceiros não avançaram com a documentação de contratação.
574	Gás natural	Reposicionamento da área sobre o tema.
579	Geração intermitente	Desistência dos parceiros.

2.7 Projetos em Contratação

A Tabela 2.15 apresenta os projetos que se encontram em contratação.

Tabela 2.15 – Projetos de P&D referentes ao Edital Cemig/Fapemig 014/2014 em contratação. (Elaboração própria).

Nº da Proposta	Título do Projeto	Duração	Instituições	Observação	Principais Resultados
APQ-01852-14	Análise da viabilidade da energia fotovoltaica no Brasil em face do marco regulatório da geração distribuída no setor elétrico Brasileiro - ANEEL RN 482/12	24 meses	UFV e PUC Minas	GD	Relatório de pesquisa contendo análises diversas.
APQ-03131-14	Geração de eletricidade descentralizada a partir dos gases residuais da carbonização	24 meses	UNIFEI	Continua lacuna e linha de pesquisa do P&D 358	Software para Viabilidade; Mapeamento no estado; Livro ou cartilha; Artigos científicos;

2.8 Exercício Hipotético de um Balanço Global acerca do Conjunto de Projetos

Essa seção fará um exercício considerando o conjunto total de projetos. Apesar de não ser a expressão exata da realidade, ele se constituirá em uma aproximação razoável. Dos 10 projetos que estão encerrando, praticamente a todos tem previsão de encerramento no limite dos seus instrumentos jurídicos. Já considerando os projetos em contratação, como são em número deduzido, o impacto de variações não é capaz de modificar a tendência dos resultados. Já do ponto de vista dos custo, não é comum que projetos de pesquisa contratados tenha os seus valores de investimento modificados. Além disso, exceto se o programa seja extinto, sempre ocorrerá a situação onde haja projetos em diferentes estágios quanto a sua execução. Desta forma, as análises a seguir expressão um retrato dos resultados dos projetos de P&D em Alternativas Energéticas até Outubro/2016.

Custo

Souza e Jonathan (2008) indicaram que os projetos realizados nos ciclos 2002/03ate 2005/2006, 50% dos projetos correspondiam a valores entre R$200 mil à R$500 mil. Observou-se que na Cemig esse valor médio foi de R$648 mil.

Pompermayer et al. (2011) fizeram uma estatística dos projeto Aneel entre o período de 200-2009 sendo reproduzida na Tabela 2.16. Já CGEE (2015) indicou que houve uma modificação no perfil dos projetos a partir de 2007, sendo que antes a maioria dos projetos encontravam-se abaixo de R$1 milhão e após esse marco, a maioria dos projetos situavam-se acima deste valor. A partir da resolução 316/2008, tem-se que o valor médio dos projetos passou a ser de R$1,3 milhão. O conjunto total de projeto (43) possui um investimento de aproximadamente R$48.521.415,40, com média de R$1.128.405,01 por projeto.

Tabela 2.16 - Estatísticas descritivas dos projetos que fizeram parte do programa de P&D regulado pela Aneel – 2000-2009 (POMPERMAYER et al., 2011)

Número de projetos	2.431
Valor total dos projetos (R$ mil)	1.422.321,31
Valor mínimo (R$ mil)	12,15
Valor máximo (R$ mil)	23.296,88
Valor médio (R$ mil)	585,08
Mediana do valor (R$ mil)	399,42
Desvio padrão (R$ mil)	760,91

Prazo

A Figura 2.34 mostra a distribuição temporal dos projetos.

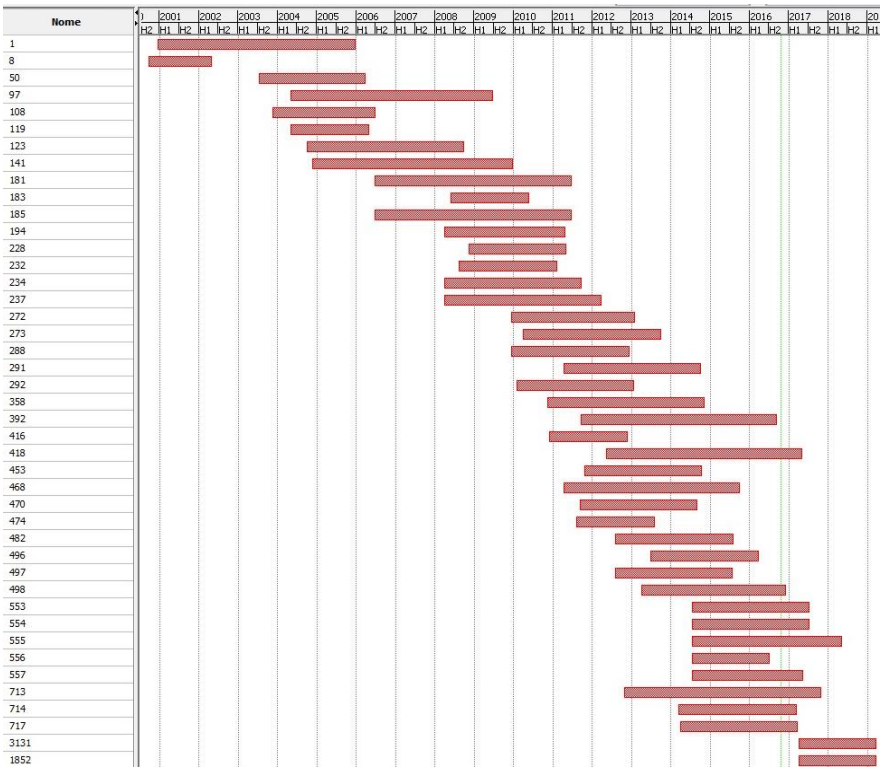


Figura 2.34 – Projetos concluídos ao longo do tempo.

Souza e Jonatahan (2008) indicaram que a maioria dos projetos tinham realização entre 12-24 meses, sendo apenas uma fração na casa das unidades para projetos com prazo menor do que 12 meses ou maior que 36 meses. Na Cemig a média dos projetos foi de 41 meses nesse período. Pompermayer et al. (2011) indicaram uma media de duração dos projetos relacionada com o número de entidades envolvidas, variando de 17 a 23 meses. O prazo médio do conjunto de projetos da Cemig foi de aproximadamente 40 meses.

Escopo

Na Tabela 2.17 encontra-se o conjunto de resultados, contemplando: resultados obtidos em projetos concluídos e interrompidos e na expectativa de resultados para projetos em andamento.

Tabela 2.17 – Aproximação de resultados para o conjunto total de projetos.

Dimensões	Resultados
Empresarial	
Metodologia	20
Laboratório	7
Software	15
Protótipo	46
Pedido de Patente (possíveis →5)	0
Científico	
Artigos em Congresso	55
Artigos em Revista	196
Capacitação	
Iniciação científica	43
Especialização	2
Mestrado	67
Doutorado	22
Pós-Doutorado	6
Total	479 itens

Considerando o valor total investido, tem-se que para cada produto individual foi realizado um investimento de R$ 97.549,67, que é próximo aos valores encontrados para o conjunto de projetos concluídos. Se for considerado apenas o resultado empresarial tem-se o valor individual de R$ 530.980,62 por item de resultado. Esse valor é apenas 8,5% superior aos valores obtidos para o conjunto de projetos realizados.

Qualidade

A Tabela 2.18 reuni as informações quanto a esse item.

Tabela 2.18 – Qualificação dos resultados dos projetos.

	Nº de projetos
Cemig D	**11**
DE	**6**
Processo	1
Incremental	1
Produto	3
Radical	3
Produto e Processo	2
Incremental	2
PA	**4**
Processo	2
Incremental	2
Produto e Processo	2
Radical	2
PB	**1**
Produto	1
Radical	1
Cemig GT	**32**
DE	**19**
Processo	1
Incremental	1
Produto	9
Incremental	5
Radical	4
Produto e Processo	9
Incremental	3
Radical	6
PA	**13**
Processo	9
Incremental	9
Produto	2
Radical	2
Produto e Processo	2
Radical	2
Total Geral	**43**

A Figura 2.35 expressa a distribuição de projetos por tema e por empresa. Já a Figura 2.36 mostra o investimento por tema e por empresa. Nas Figuras 2.37-2.38 é possível verificar a distribuição dos projetos e o investimento da Cemig por tema.

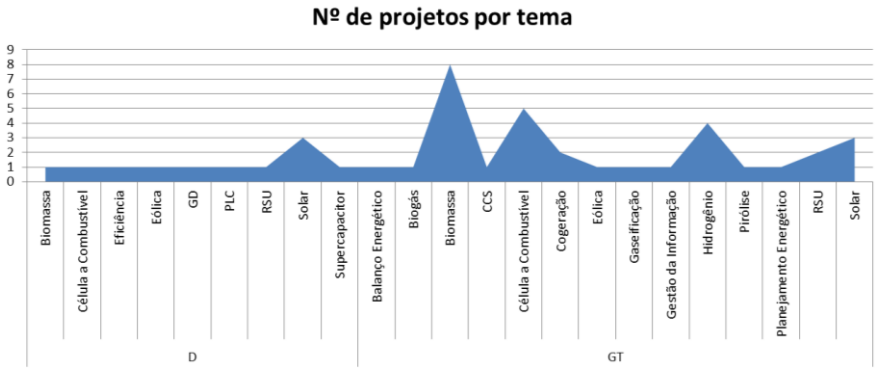


Figura 2.35 – Distribuição de projetos por tema e por empresa (D/GT).

Para a Cemig GT o maior numero de projetos encontra-se associado com a pesquisa em Biomassa, seguido por células a combustível e hidrogênio. Na Cemig D o destaque em relação aos demais ocorre em projetos de energia solar.

Figura 2.36 – Investimento (R$) por tema e por empresa (D/GT).

Em termos de investimento, para a Cemig D o maior volume de recursos encontra-se alocados de projetos do tema solar. Para o caso da Cemig GT, a área de maior investimento é a de biomassa.

Figura 2.37 – Distribuição de projetos por tema.

Considerando a Cemig como um todo, os temas de biomassa e solar destacam-se na quantidade.

Figura 2.38 – Investimento (R$) por tema.

Sob o aspecto de investimentos, a área de pesquisa em energia solar se sobressae em relação aos demais projetos sendo seguido por biomassa e células a combustível. Muitas das linhas de pesquisa possuem alocação de recursos menor do que R$200.000,00.

A Figura 2.39 indica a disposição no território brasileiro do conjunto de parceiros presentes nos projetos da Cemig e a Figura 2.40 apresenta os projetos da Cemig no painel de tecnologias para a produção de energia.

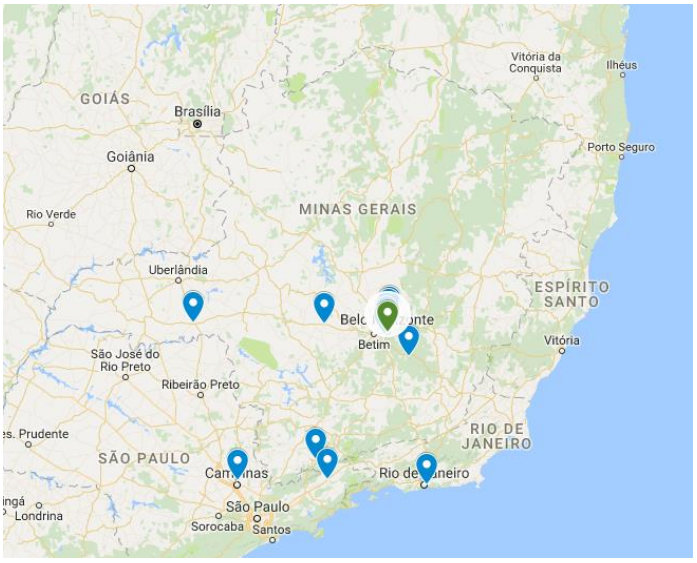


Figura 2.31 – Localização do conjunto de parceiros da Cemig – a maioria encontra-se em Belo Horizonte.

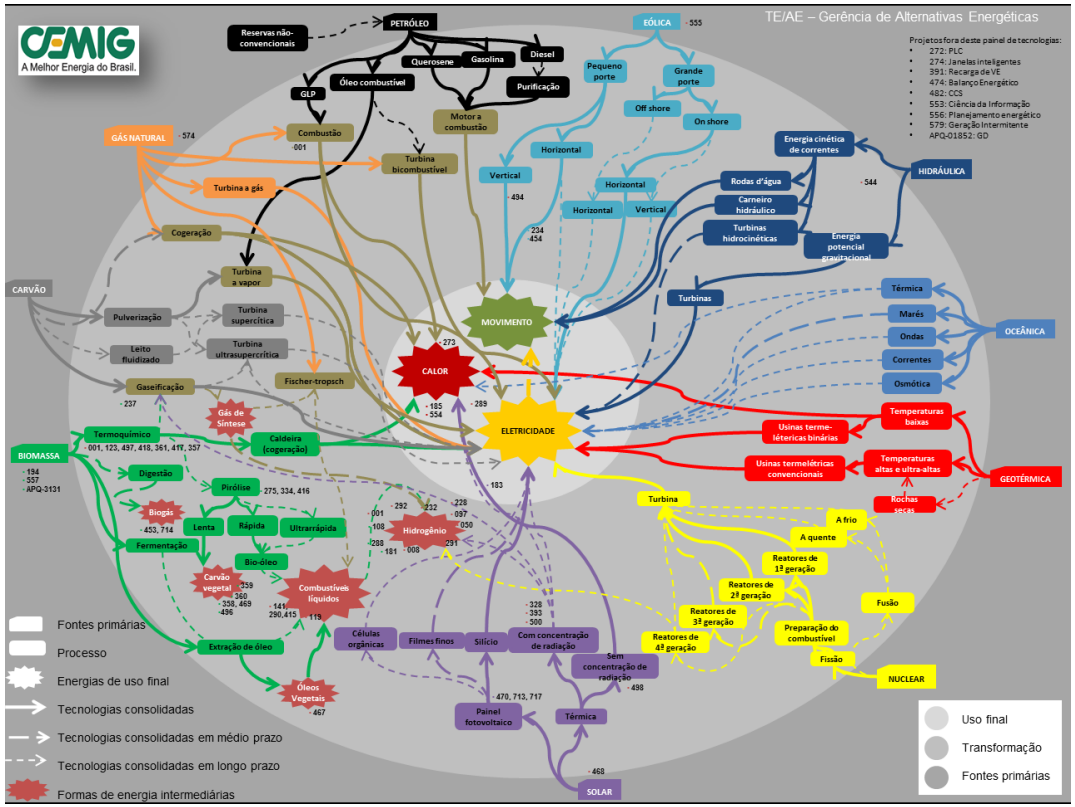


Figura 2.40 – Alocação dos projetos de P&D da Cemig dentro do contexto das tecnologias de produção de eletricidade.

2.9 Comentários Finais

A inovação é uma tarefa árdua e o P&D da Cemig é um grande exemplo disso. A diversidade de assuntos, juntamente com a complexidade dos temas, exigem grandes investimentos para a montagem de infraestrutura básica de pesquisa e até mesmo para formação de recursos humanos adequados. Para alguns temas, como hidrogênio e células a combustível, o programa inclusive ajudou a formar massa critica em pesquisadores no tema. Não se trata de apenas de almejar uma inovação que gere lucros, mas se não houver pessoas que minimamente conheçam as tecnologias não é possível nem a sua aquisição no mercado. Para muitas linhas, os projetos funcionam como uma entrada no universo tecnológico, colocando o tema em discussão na Empresa e amadurecendo as percepções quanto ao impacto ou a adoção de tal tecnologia. Para outros casos, significa criar competência interna para lidar com conceitos de futuro, olhando para o médio e o longo prazo, de forma a antecipar para a Cemig tendências, ameaças e oportunidades.

Alguns dos resultados têm uso na Empresa. Alguns dos laboratórios foram montados em universidades e continuam em funcionamento, servindo a sociedade. A quase totalidade da capacitação nos projetos apresentados ocorreu formando pessoas externas a Cemig, e que estão no mercado, fomentando e desenvolvendo a economia e assim cumprindo também uma vertente social do programa de P&D para com a sociedade. O grande volume de artigos retrata o conhecimento científico obtido nos projetos e que contribui para o desenvolvimento da ciência nacional, para o debate das questões no setor elétrico e principalmente na criação de competências internas que fazem uso de todo esse conhecimento para indicar os caminhos em alternativas energéticas, para novas pesquisas e para a contribuição ao posicionamento estratégico da Cemig em eficiência operacional e no desenvolvimento de novos negócios.

Referências

Referências

CAPÍTULO 1

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Análise de impacto regulatório**. 2014. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/026/documento/nota_tecnica_0017_2015_srd_-_anexo_v_-_air.pdf >. Acesso em: 18 de ago. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **ANEEL estabelece limites para o PLD de 2015**. 2014 Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8263&id_area= >. Acesso em: 15 de ago. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração – BIG.** 2015 Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 01 de out.2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração – BIG - Combustíveis.** 2015a Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>. Acesso em: 10 de out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração – BIG: capacidade de geração no Brasil.** 2015b Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=11&fase=1 >. Acesso em: 08 de out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. 2012 Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf >. Acesso em: 22 de ago. 2015.

AMARANTE, O. A. C. et. al. **Atlas Eólico de Minas Gerais – CEMIG**. Belo Horizonte, MG. 2010.

AMARANTE, O. A. C., et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília:DF. MME. 2001.

ARBOIT, N. K. S.; DECEZARO, S. T.; AMARAL, G. M. et al. Potencialidade de utilização da energia geotérmica no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 26, p. 155-168, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA – ABEEOLICA. **Números do Setor.** 2015. Disponível em: <http://www.portalabeeolica.org.br/>. Acesso em: 20 de out. 2015.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO – BNDES. **Programa Fundo Clima**. 2014 Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/Fundo_Clima>. Acesso em: 30 de out. 2015

BRASIL DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004a. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM>. Acesso em: 10 de set. 2015.

BRASIL LEI Nº 12.783, DE 11 DE JANEIRO DE 2013. Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/L12783.htm>. Acesso em: 17 de out. 2015.

BRASIL LEI Nº 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427cons.htm>. Acesso em: 28 de ago. 2015.

Brasil RESOLUÇÃO No 24, DE 5 DE JULHO DE 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Resolu%C3%A7%C3%A3o/RES24-01.htm>. Acesso: 15 de out. 2015.

BRASIL. LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm>. Acesso em: 23 de set. 2015.

BRASIL. LEI Nº 10.848, DE 15 DE MARÇO DE 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm>. Acessp em: 31 de ago. 2015.

BRASIL. LEI No 9.991, DE 24 DE JULHO DE 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9991.htm>. Acesso em: 18 de set. 2015.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Com quem se relaciona**. 2015. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/>. Acesso em:20 de set. 2015.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Leilões**. 2016. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/>. Acesso em:20 de set. 2016.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Preço Médio da CCEE (R$/MWh)**. 2016a. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/>. Acesso em:20 de set. 2016.

CAMPOS, I. **20 Anos Declaração de Belo Horizonte** (Comunicação oral). In: Fórum Mineiro de Energias Renováveis. 2014. Belo Horizonte.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. **Potencial Hidrelétrico Brasileiro em cada Estágio por Estado**. 2015a. Disponível em: <https://www.eletrobras.com/ELB/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm>. Acesso em: 04 de set. 2015.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. **Potencial Hidrelétrico Brasileiro em cada Estágio por Bacia**. 2015b. Disponível em: <https://www.eletrobras.com/ELB/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm>. Acesso em: 04 de set. 2015.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. **Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro - SIPOT**. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <https://www.eletrobras.com/ELB/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm>. Acesso em: 04 de set. 2015.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Redes elétricas inteligentes: contexto nacional.** 2012a. Disponível em: < http://www.cgee.org.br/atividades/redirect/8050 >. Acesso em: 28 de out. 2015.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. ***Roadmap* tecnológico para produção, uso limpo e eficiente do carvão mineral nacional: 2012 a 2035**. 2012. Disponível em: < www.cgee.org.br/atividades/redirect/7877 >. Acesso em: 28 de out. 2015.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – Cemig **28º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais.** 2014a Disponível em: http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/BEEMG.pdf . Acesso em: 20 out. 2015.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Alternativas Energéticas: Um Visão Cemig**. 2012. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Alternativas%20Energ%C3%A9ticas%20-%20Uma%20Visao%20Cemig.pdf>. Acesso em: 19 de ago. 2015.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – Cemig. **Energia Eólica**. 2014. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Paginas/energia_eolica.aspx>. Acesso em 31 de ago. 2015.

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA – CNPq. **Principais ações de 1995**. 2014. Disponível em: <http://centrodememoria.cnpq.br/realiz95.html>. Acesso em: 01 de set. 2015.

ELETRONUCLEAR **Panorama da Energia Nuclear no Mundo – Edição: Nov/2013**. 2013. Disponível em: <http://www.aben.com.br/publicacoes-tecnicas/pagina-4>. Acesso em: 16 de out. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (2015). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. 2015. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/PDEE/PDE%202024.pdf >. Acesso em: 18 de out. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (2016). **Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese**. 2016. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf >. Acesso em: 20 de set. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE **Plano Nacional de Energia – 2030**. 2007. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx >. Acesso em: 18 de out. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica. 2016.** Disponível em: < http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20

Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf > . Acesso em: 20 de set. 2016.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **Dry natural gas production**. 2015b. Disponível em: <http://www.eia.gov/beta/international/rankings/#?prodact=26-1&cy=2011>. Acesso em: 07 de set. 2015.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **Total Petroleum and Other Liquids Production – 2014**. 2015. Disponível em: <http://www.eia.gov/beta/international/>. Acesso em: 10 de set. 2015.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **World Shale Resource Assessments**. 2015a. Disponível em: <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>. Acesso em: 07 de set. 2015.

ESTEFEN, S. F. **Energia Renovável dos Oceanos Relatório IPCC & Atividades no Brasil**. 2012. Disponível em: <http://www.febraban.org.br/7Rof7SWg6qmyvwJcFwF7I0aSDf9jyV/sitefebraban/Apresenta%E7%E3o%20-%20Segen.pdf>. Acesso em: 15 de out. 2015.

FLEMING, F. P. **Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil**. 2012. Tese de Doutorado. Coppe/UFRJ. Disponível em: < http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/fernanda_fleming.pdf >. Acesso em: 19 de set. 2015.

Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. **Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: potencial de eficiência energética** com enfoque setorial. Belo Horizonte: FEAM, 2014. Disponível em: < http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/upload/documents-pdf/potencial_eficiencia_energetica_ficha_catalografica.pdf >. Acesso em: 15 de set. 2016.

Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. **Potencial de energias renováveis**. Belo Horizonte: FEAM, 2014a. Disponível em : < http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/upload/documents-pdf/pemc_potencial_er_vol_i.pdf >. Acesso em: 20 de set. 2016.

Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. **Potencial de energias renováveis. v2**. Belo Horizonte: FEAM, 2014b. Disponível em: < http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/upload/documents-pdf/pemc_potencial_er_vol_2_ficha_catalografica.pdf >. Acesso em: 25 de set. 2016.

GLOBO. Pernambuco faz 1º leilão do Brasil de energia solar e contrata 5 empresas. Pernambuco, dez. 2013 Disponível em: < http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2013/12/pernambuco-faz-1-leilao-do-brasil-de-energia-solar-e-contrata-5-empresas.html >. Acesso em: 15 de ago. 2015.

GOLDSTEIN, B., G. HIRIART, R. BERTANI, C. BROMLEY, L. GUTIERREZ-NEGRIN, E. HUENGES, H. MURAOKA, A. RAGNARSSON, J. TESTER, V. ZUI.: **Geothermal Energy**. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2010. Disponível em: < http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch04.pdf >. Acesso em: 13 de set. 2015.

GRID-ARENDAL. **IPCC Special Report on Emissions Scenarios: 3.1. Introduction**. Disponível em: <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/050.htm.> Acesso em: 30 de nov. 2014.

GRUBLER A, JOHANSSON TB, MUNCADA L, NAKICENOVIC N, PACHAURI S, RIAHI K, ROGNER H-H, STRUPEIT L . **Chapter 1: Energy primer: In Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future, Toward a Sustainable Future.** 2012**.** Cambridge University Press and IIASA, pp.99-150. Disponível em: < http://www.globalenergyassessment.org/ >. Acesso em: 3 de nov. 2015.

HOLLANDA, J. B., ERBER, P. II. **Energy Efficiency in Brazil. In: Trade and Environment Review 2009/2010.** 2010 Disponível em: <http://www.inee.org.br/down_loads/eficiencia/Artigo_INEE_UNCTAD.pdf>. Acesso em: 22 de out. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Área Territorial** Brasileira. 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm.>. Acesso em: 01 de out. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira | 5ª edição**. 2015. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001155.pdf>. Acesso em: 11 de set. 2015.

LEWIS, A., ESTEFEN, S. , HUCKERBY, J. et al. **Ocean Energy**. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. IPCC. 2011. Disponível em: <http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch06.pdf>. Acesso em: 01 de out. 2015.

LOPES, A. **ABRACEEL**. In: Fórum de Fontes Energéticas Alternativas, Rio de Janeiro. 2013.

MACKAY, D. **Sustainable Energy — without the hot air**. 2009. Disponível em: < http://www.withouthotair.com/ >. Acesso em: 01 de nov. 2015.

MARINHO, M. H. N., AQUINO, R. R. B. Oferta de Energia Através da Complementariedade Sazonal Hidro-Eólica. **Revista PCH Notícias & SHP NEWS** - Número 40. p. 36-42. 2011

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME**. Luz Para Todos: Um marco histórico.** 2010 Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Livro_LPT_portugues.pdf>. Acesso em: 22 de set. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. 2010a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>. Acesso em: 11 de out. 2015.

OPENEI **Transparent Cost Database.** 2015 Disponível em: <http://en.openei.org/apps/TCDB/>. Acesso em: 02 de nov. 2015.

PEREIRA et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE. 2006. Disponível em: < http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf >. Acesso em: 4 de out. 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – SEAPA. Perfil do Agronegócio Brasileiro - 2015. 2015 Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/images/files/perfil/perfil_brasil1.pdf> . Acesso em: 05 de nov. 2015.

SECRETARIA ESTADUAL DE FAZENDA DO ESTADO DE MINAS GERAIS – SEF/MG LEI Nº 20.824, DE 31 DE JULHO DE 2013. 2013. Disponível em: <http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/leis/2013/l20824_2013.htm>. Acesso em: 10 de out. 2015.

SILVA, C. H. F., PORTO, M. A. D., BUENO, A. F. M. Resíduos: Um Potencial a Ser Explorado. 2014. **Jornal Brasileiro das Indústrias de Biomassa**. Ano III. N 15.

THE WORLD BANK **Brasil.** 2014. Disponível em: <http://data.worldbank.org/country/brazil/portuguese>. Acesso em: 01 de ago. 2015.

THE WORLD BANK. **Brasil: Aspectos Gerais**. 2014a. Disponível em: <http://www.worldbank.org/pt/country/brazil/overview>. Acesso em: 01 de ago. 2015.

THE WORLD BANK. **Brasil: Population**. 2015. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL/countries?display=graph>. Acesso em: 01 de ago. 2015.

TIBA et al. **Atlas Solarimétrico do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. CEMIG. 2013. Disponível em: < http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Atlas_Solarimetrico_CEMIG_12_09_menor.pdf >. Acesso em: 13 de out. 2015.

VARELLA, F. K. O. M., CAVALIERO, C. K. M., SILVA, E. P. Energia Solar Fotovoltaica No Brasil: Incentivos Regulatórios. **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 14, No. 1, pp. 9-22. 2008.

World Nuclear Association – WNA. Thorium. 2015. Disponível em: <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Thorium/>. Acesso em: 21 de out. 2015.

CAPÍTULO 2

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (2016). **Pesquisa e& Desenvolvimento** . Disponível em: http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=75 . Acesso em: 03/03/2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA –ANEEL. **Fontes Alternativas de Geração de Energia Elétrica**. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1599 >. Acesso em: 11 de nov. 2015.

BARCELOS, D. C.; AMARAL, B.; BOURG, D. C.; VALÊNCIA, A.; SILVA, C. H. F.; MADUREIRA, A. J. V. **Tecnologias integradas de transporte de ga s de carbonizaça o de biomassa e beneficiamento de subprodutos para cogeraça o de energia ele trica usando microturbinas**. In VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

CARNEIRO, A. C. O. ; DONATO, D. B. ; BARCELOS, D. C. ; VALENCIA, A. ; Cunha, W. L. P. ; SILVA, C. H. F. . **Desempenho de um Sistema Industrial de Transporte de Gases da Carbonização para a Cogeração de Energia Elétrica**. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2015, Costa do Sauípe/BA. VIII Citenel, 2015.

CARNEIRO, A. C. O. ; MENDES, A. F. N. ; CASTRO, R. V. O. ; SILVA, C. H. F. ; CUNHA, W. L. P. ; CANDIDO, W.L. . **Potencial dos Resíduos da Colheita Florestal e Resíduos da Carbonização para a Produção de Energia**. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2015, Costa do Sauípe/BA. VIII Citenel, 2015.

CARVALHO, A. M.; SILVA, C. H. F. da; LORA, E. E. S., NASCIMENTO, M. A. R., VENTURINI, O.J.; ANDRADE, R.V.; COBAS, V.R.M. **Microturbinas a**

Ga s, Motores Stirling e Celulas a Combustível para Geraçao Distribuída. In IV CITENEL Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2007, Araxá.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Sugestões de aprimoramento ao modelo de fomento à PD&I do Setor Elétrico Brasileiro: Programa de P&D regulado pela Aneel**. Brasília, DF. CGEE. 2015.

COLTURATO, L. F. D. B. ; SILVA, C. H. F. ; SEVERAL, T. ; SOUZA, L. C. ; GOMES, F. . **Eficiência de um sistema de dessulfuração do biogás visando a geração de energia elétrica a partir da metanização da vinhaça**. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2015, Costa do Sauípe/BA. VIII Citenel, 2015.

DINIZ, J. H.; QUADROS, S. V. T. de; GARCIA, J. L. Á.; LOBO, A. R.; FERREIRA, A. C.; CAIRES, M. I. **Célula a Combustível de Polímero Condutor Ionico**. In Congresso em Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2001, Brasília. I Citenel, 2001.

DOMINGUES, R. Z.; MATENCIO, T.; NASCIMENTO, G. L. T.; ALMEIDA, R. M.; MADUREIRA, A. J. V.; SILVA, C. H. F. da. Desenvolvimento de um protótipo de pilha a combustível de oxido solido com potencia de geração de 1 kW. **Revista de P&D Aneel** Ed. 2015, Brasília, p. 1 3.

GIRALDO, S. Y. ; COBAS, V. R. M. ; LORA, E. E. S. ; LOPES, B. M. ; SILVA, C. H. F. . **Gaseificação de Biomassa para Acionamento de Células a Combustível do tipo SOFC**. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Eletrica, 2015, Costa do Sauípe/BA. VIII Citenel, 2015.

LEME, M. M. V ; VENTURINI, O. J. ; ROCHA, M. H. ; LORA, E. E. S. ; LOPES, B. M. ; SILVA, C. H. F. . **Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil: abordagem econômica e ambiental**. In: Citenel - Congresso em Inovação Tecnológica da Aneel, 2011, Fortaleza. VI CITENEL, 2011.

LOPES, B. M.; LISBOA, A. H.; CARVALHO, A. M.; MASCIMENTO, C. A. M. do; BORTOLUS, M. V.; VALLE, R. M.; PINTO, R. L. U. de F.; RIBEIRO, R. P.; SILVA, S. R.; VASCONCELOS, J. A. de. **Aerogeradores de Pequeno Porte Adap-tados a regimes de ventos turbulentos e conecta veis em redes ele tricas fracas**. In XX SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétri-ca, 2009, Recife/PE.

MADUREIRA, A. J. V. ; DOMINGUES, R. Z. ; MATENCIO, T. ; NASCIMENTO, G. L. T. ; ALMEIDA, R. M. ; SILVA, C. H. F. . **Desenvolvimento de um protótipo de pilha a combustível de óxido sólido com potência de geração de 1 kW**. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica - Citenel, 2015, Costa do Sauípe/BA. VIII Citenel, 2015.

MADUREIRA, A. J. V. ; SILVA, C. H. F. ; TORRES, E. S. ; COSTA, L. C. M. . **Desenvolvimento de processo e protótipos para craqueamento térmico para a conversão de resíduos poliméricos gerados no sistema elétrico**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

PEREIRA, E. M. D. ; MACIEL, C. R. F. ; SILVA, C. H. F. ; Porto, M. A. D. . **Geração Termelétrica Descentralizada para o Setor Siderúrgico**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

POMPERMAYER, F. M., DE NEGRI, F., CAVALCANTE, L. R**. Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro : uma avaliação do programa P&D regulado pela Aneel.** Ipea. Brasília. 2011

SILVA, C. H. F. ; CARVALHO, A. M. ; TORRES, E. S. **. Laboratório Experimental para Produção de Hidrogênio e Seu Uso Como Vetor Energético**. In: IV CITENEL - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2007, Araxá. Laboratório Experimental para Produção de Hidrogênio e Seu Uso Como Vetor Energético, 2007.

SILVA, C. H. F. ; COLTURATO, L. F. D. B. ; SOUZA, L. C. . **Desenvolvimento de um sistema de purificação do biogás visando a geração de energia elétrica a partir da metanização da vinhaça**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, C. H. F. ; COSTA, J. C. E. ; ALMEIDA, N. F. ; Porto, M. A. D. ; TIBA, C. ; REIS, R. J. . **Sistema para Cálculo do Potencial de Instalação de Usinas Solares Fotovoltaicas e Termoelétricas Solares de Grande Porte**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. . **Laboratório de Produção de Hidrogênio da Cemig: Análise Cromatográfica**. In: Citenel, 2011, Fortaleza. VI Citenel, 2011.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. . **Tecnologias integradas de transporte de gás de carbonização de biomassa e beneficiamento de subprodutos para cogeração de energia elétrica com microturbinas**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. ; CARVALHO, A. M. . **Laboratório de Produção de Hidrogênio da Cemig: Operação Experimental**. In: VI Citenel, 2011, Fortaleza. VI Citenel, 2011.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. ; CARVALHO, A. M. ; DOMINGUES, R. Z. . **Desenvolvimento de um protótipo de pilha a combustível de óxido sólido de 50 W.** In: Citenel, 2011, Fortaleza. VI Citenel, 2011.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. ; PRATES, C. F. ; LACERDA, R. G. ; FERLAUTO, A. S. . **Aplicações de Nanotubos de Carbono em Membranas de Troca Protônicas para Células Combustíveis**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. ; PRATES, C. F. ; SOUZA, J. C. ; SOUZA, C. H. F. B. ; Silva, M. E. S. R. ; SOUZA, R. G. ; FREITAS, R. F. S. . **Desenvolvimento de Membrana Polimérica para Células a Combustível**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. ; SOARES, R. R. **. Desenvolvimento de Catalisadores para a Reforma de Biomassa e Produção de Hidrogênio**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, C. H. F. ; MADUREIRA, A. J. V. ; TORRES, E. S. ; CARVALHO, A. M. . **Produção de Hidrogênio Através da Reforma de Etanol**. In: V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Eletrica - Citenel, 2009, Belém. Produção de Hidrogênio Através da Reforma de Etanol, 2009.

SILVA, C. H. F. ; MARTINS, A. F. ; TEIXEIRA, L. C. . **Geração de energia elétrica em microturbinas e motores estacionários usando Biodiese**l. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica - Citenel, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, C. H. F. ; Silva, E. L. B. ; HOSAMI, M. A. . **Desenvolvimento de Modelo para Iniciativas de Inclusão Digital Utilizando Tecnologia Power Line Communication de Banda Larga**. In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SILVA, E. L. B. ; SILVA, C. H. F. ; LOPES, B. M. . **Sistema de Geração de Energia com Motor Stirling**. In: VI Citenel, 2011, Fortaleza. VI Citenel, 2011.

SODRE, J. R. ; SILVA, C. H. F. . **Sistema de Injeção Eletrônica de Hidrogênio para um Motor Diesel Estacionário.** In: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2013, Rio de Janeiro. VII Citenel, 2013.

SOUZA, F. L. A. de, JONATHAN, S. **Pesquisa e Desenvolvimento no Setor Elétrico: a caminho da inovação**. Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo. São Paulo. 2008

TORRES, E. S. ; SILVA, C. H. F. ; CARVALHO, A. M. ; Rodrigues, V. . **Desenvolvimento do Conjunto Motogerador Movido a Álcool Etílico Hidratado**. In: VI Citenel, 2011, Fortaleza. VI Citenel, 2011.

VENTURINI, O. J. ; PIRANI, M. J. ; MENDES, T. ; SILVA, E. L. B. ; SILVA, C. H. F. . **Sistema Frigorífico Por Absorção de Vapor Acionado Por Energia Solar**. In: VIII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica - Citenel, 2015, Costa do Sauípe. VIII Citenel, 2015.

Apêndice

Apêndice

Cartilha sobre Estudos Tecnológicos

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Estudos Tecnológicos

O que você encontrará aqui:

Geração Distribuída 3
Produção de energia renovável aliada a eficiência energética

***Smart Grid*.....5**
Uma mudança na relação entre o consumidor e o setor elétrico

***Smart Metering*.....8**
Medição adequada para um sistema inteligente

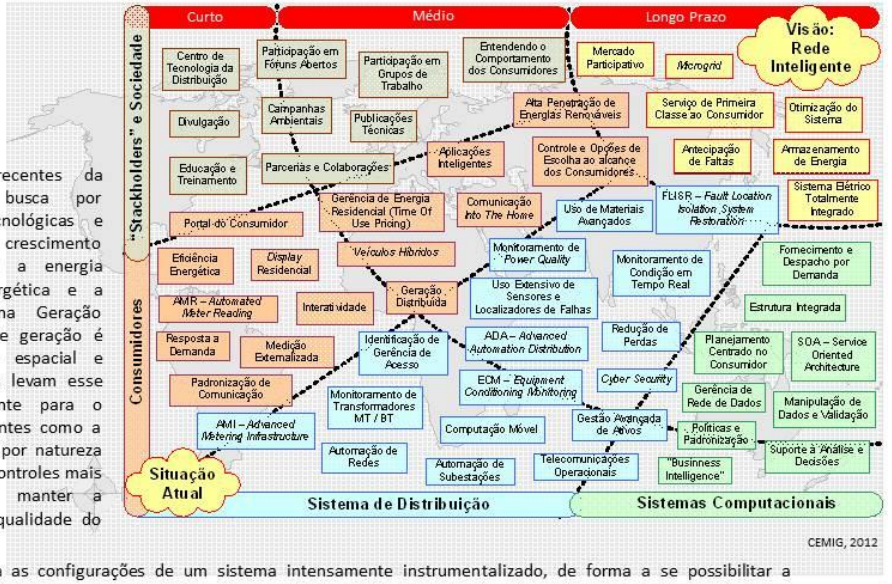
Tecnologias.....9
Oportunidades científicas, tecnológicas, industriais e políticas

***Smart Cities*.....11**
Convergência de tecnologias digitais para suportar a Cidade do Futuro

1

Introdução
Um Futuro Promissor

Dentre as preocupações recentes da sociedade destaca-se a busca por alternativas energéticas, tecnológicas e ambientais que assegurem o crescimento sustentável. Nesse contexto a energia renovável, a eficiência energética e a tecnologia se encontram na Geração Distribuída (GD). Esse tipo de geração é caracterizada pela dispersão espacial e geográfica. Tais características levam esse tipo de geração naturalmente para o pequeno porte, explorando fontes como a eólica e a solar. Essas fontes, por natureza são variáveis e necessitam de controles mais precisos, de forma a se manter a confiabilidade, integridade e qualidade do sistema elétrico.



CEMIG, 2012

Isso abre a possibilidade para as configurações de um sistema intensamente instrumentalizado, de forma a se possibilitar a automação adequada, exigindo assim formas inteligentes de medição (*Smart Metering)*. Para que tais sistemas possam ser operados faz-se ainda necessário o uso intensivo de sistemas de informação, proporcionado pelos sistemas de telecomunicação, aliado a bancos de dados e informações para monitoramento e tomada de decisão, constituindo assim uma nova rede, a *Smart Grid*. Nesse contexto, observa-se uma "convergência digital" de tecnologias, abrindo-se inúmeras possibilidades para uma nova relação com a energia, o sistema elétrico e a sociedade – as *Smart Cities*.

Geração Distribuída

A ideia da Geração Distribuída (GD) está associada a produção de energia próxima ao local de consumo, em contraponto a grandes usinas - distantes dos centros de consumo, que precisam transformar e transmitir a energia antes da sua distribuição. O conceito envolve, ainda, equipamentos de medida, controle e comando, responsáveis por articular a operação de geradores e realizar um eventual controle de cargas. O Decreto 5.163/2004 considera GD como a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074/1995 (hidráulicos, iguais ou inferiores a 1.000 kW, e termelétricas de 5.000 kW), conectados diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento: hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW e termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento (termelétricas a biomassa ou resíduos de processo não está limitadas a esse percentual).

Essa forma de produção de energia tem seus objetivos voltados para uma maior eficiência das fontes energéticas disponíveis, aliando preocupações energéticas e ambientais. As tecnologia de GD podem ser classificadas nas categorias:

- fontes renováveis: painéis fotovoltaicos, centrais eólicas, pequenas e micro centrais hidrelétricas, energia geotérmica, geração térmica a partir da biomassa, incluindo motores de combustão interna, turbinas a vapor, turbinas a gás e microturbinas. Interessante observar que algumas destas fontes possui natureza sazonal e que para em caso de operação isolada exige a adoção de sistemas de armazenamento. Para esses o armazenamento de energia existe uma diversidade de tecnologias disponíveis, como por exemplo: baterias (diversos tipos disponíveis), sistemas de ar comprimido, supercapacitores, *flywheels*. Uma forma de se indicar a tecnologia a ser adotada é, por exemplo, uma relação entre o tempo de descarga e a potência requerida. Outras relações encontram-se nas relações entre energia disponível por massa ou por volume. Há entretanto que se ressaltar que o uso de sistema de armazenamento elevam significativamente o custo da GD.
- alta eficiência/cogeração: turbinas a gás, turbinas a vapor, células a combustível, motores Stirling e microturbinas, usando combustíveis fósseis ou renováveis ; e
- aproveitamento de rejeitos industriais.

A GD pode trabalhar em duas vertentes: como reserva de energia (suprir excessos de demanda de ponta, melhorar parâmetros qualitativos do fornecimento de eletricidade) e como fonte de energia (autoconsumo podendo ter ou não excedente de produção exportável).

Entre os principais impactos que a GD promove na rede elétrica cita-se: a possibilidade de fluxo bidirecional, os desafios ao planejamento da distribuição, despacho de difícil implementação, questões associadas a estabilidade e qualidade da energia. Dentre as vantagens destacam-se: a postergação de investimentos, a atuação dos consumidores como financiadores de investimentos (no caso da autoprodução), e a criação de condições favoráveis para o desenvolvimento das *Smart Grids*.

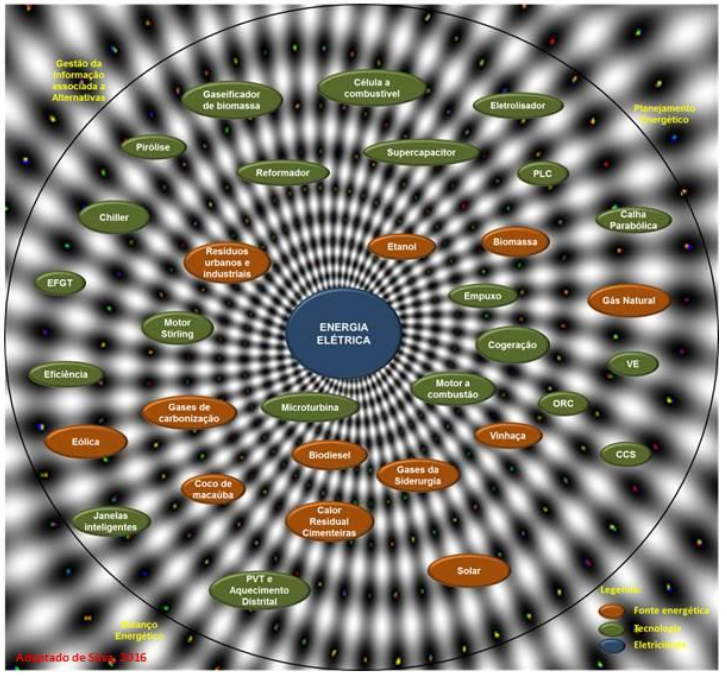
Os sistemas distribuídos de menor capacidade, sem dúvida, convergem para os sistemas fotovoltaicos e tal implantação tem como consequência a queda nos preços da tecnologia. Considerando dados do *World Energy Concil* é possível verificar que os 10 países que mais tem investido recentemente nesses sistemas são (em ordem decrescente): Japão, Estados Unidos, China, Reino Unido, Austrália, Alemanha, Holanda, França, Taiwan e Itália.

Do ponto de vista de pesquisa, as chamada de projetos estratégicos da ANEEL acerca dos temas de inserção da energia solar, eólica e de biogás , e de incentivos para a introdução de sistemas de armazenamento, representam grandes expectativas quanto ao desenvolvimento científico, industrial, social e ambiental. 3

Geração Distribuída

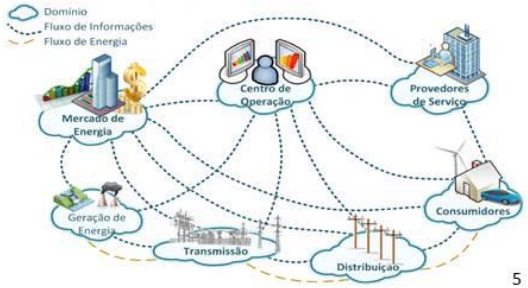
A Agência Nacional de Energia Elétrico editou em 2012 a Resolução Normativa 482, incentivando a autoprodução de energia elétrica, através de mini (100 kW-1 MW) e micro (< 100 kW) geração no sistema de compensação de energia (*net metering*) pelo prazo máximo de 36 meses, devendo a unidade consumidora está conectada à Rede de Distribuição. Em 2015 essa REN foi substituída pela REN 687, que trouxe aperfeiçoamentos nos seguintes aspectos: ampliação da minigeração para 5 MW; duração dos créditos por até 60 meses; redução do tempo de tramitação de pedidos para 34 dias; adoção de formulários padronizados; processo online; possibilidade de auto consumo remoto (produção em um unidade e consumo em outra, do mesmo titular); GD em condomínios; geração compartilhada. Tais aprimoramentos colocam o Brasil como referência internacional em regulação para GD. Ver sobre Microgeração no site: https://www.cemig.com.br/.

Considerando o número de pedidos de conexão , a fonte preferencial é a energia solar, com a tecnologia fotovoltaica em aproximadamente 99% do número pedidos de conexão e 80% da potência instalada. A ANEEL e a EPE estimam que nos próximos anos milhões de unidades serão conectadas na forma de GD, alcançando um fração da matriz energética futura. Isso representa grandes desafios de: investimento, energético e planejamento.



Geração Distribuída pela ótica dos Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) da Cemig no âmbito do Programa ANEEL
http://sgpdi.cemig.com.br/

Rede Inteligente ou...

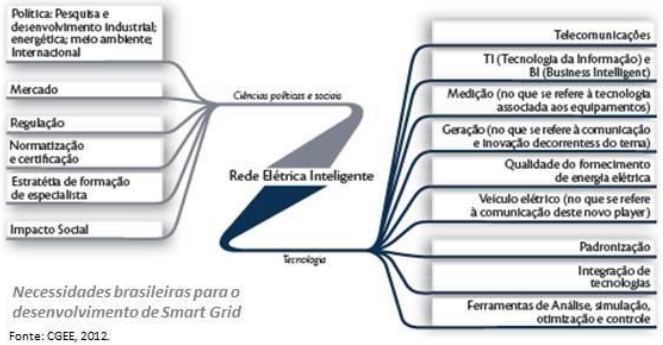


Fonte: Lopes et al, 2015

5

...Smart Grid

O termo *Smart Grid (SG)* surgiu pela primeira vez em meados da década de 1990, em artigos científicos, sendo que a sua maior referência encontra-se em um artigo da Revista IEEE P&D, intitulado "*Toward a Smart Grid*". Em 2007 surgiu o primeiro conceito, dado pelo Governo americano, se constituindo em uma política de apoio a modernização do setor elétrico americano, abordada em 10 frentes, com o objetivo de manter uma infraestrutura segura e confiável de eletricidade com perspectiva de atendimento da demanda futura . Trata-se de um conceito recente a ser consolidado no Século XXI. Apesar das diversas definições em que esse termo encontra-se envolvido, de maneira geral, há a convergência para uma evolução da rede elétrica com o uso de elementos digitais e de telecomunicação juntamente com tecnologia de processamento de dados. As primeiras tentativas de se inserir inteligência na rede ocorreu no segmento de medição e monitoramento, motivo pelo qual frequentemente se confunde a medição inteligente com a rede inteligente. A medição realizada de forma capilar possibilita o uso de estratégias de otimização da rede em tempo real para o fornecimento ao consumidor final. Tal atualização tecnológica, que liga a geração à distribuição, se configura então como a *Smart Grid*. Em países europeus e nos EUA são relatados projetos de infraestrutura de medição inteligente avançada (AMI) e de geração distribuída (GD). Já países como China e Coréia do Sul têm se destacado em investimentos futuros de médio e longo prazos para a criação desse tipo de rede elétrica. A *European Comission* relatou a existência de mais de 200 projetos no mundo. É interessante observar que a motivação de implantação, assim como os objetivos destas redes podem variar sensivelmente, passando por: microgeração, eficiência energética e de redes, energia limpa, atuação nas perdas, substituição de fontes energéticas, crescimento da demanda e mercado tecnológico, dentre outros. No Brasil as principais iniciativas tem sido conduzidas pelas concessionária de energia: Cemig, Ampla, Light, Eletrobrás, AES Eletropaulo, Coelce, EDP Bandeirantes. Um destaque é para os projeto de P&D da Cemig que compuseram o projeto "Cidades do Futuro", implantados na cidade de Sete Lagoas. Tais projetos foram focados inicialmente na implantação da infraestrutura de medição inteligente avançada e na inserção de microrredes geradoras baseadas na energia eólica e solar fotovoltaica.



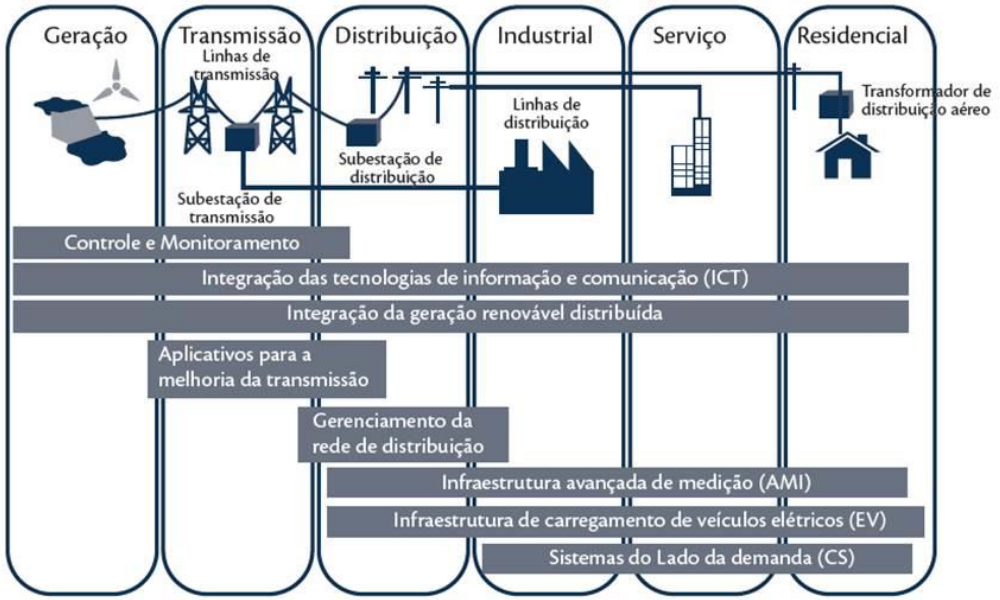
Necessidades brasileiras para o desenvolvimento de Smart Grid

Fonte: CGEE, 2012.

Os grandes direcionadores para o desenvolvimento da SG são: confiabilidade e resiliência da oferta; a segurança e independência energética; o controle sobre o aumento dos custos de energia elétrica; suporte para o crescimento da demanda; sustentabilidade ambiental; a evolução das tecnologias de geração distribuída; redução dos gases de efeito estufa; serviços avançados de consumo. As tendências futuras para a *SG* encontram-se: na aplicação de Internet das Coisas (IoT), inclusive aos equipamentos da rede elétrica; desenvolvimento de *Cybersecurity*. Como pode se perceber, são muitos os desafios, mas também é grande a expectativa para com os benefícios, principalmente quanto aos desdobramentos da SG nas cidades, as *Smart Cities*.

6

Categorias de tecnologias constituintes de uma Rede Elétrica Inteligente plena



Adaptado de IEA (2011)

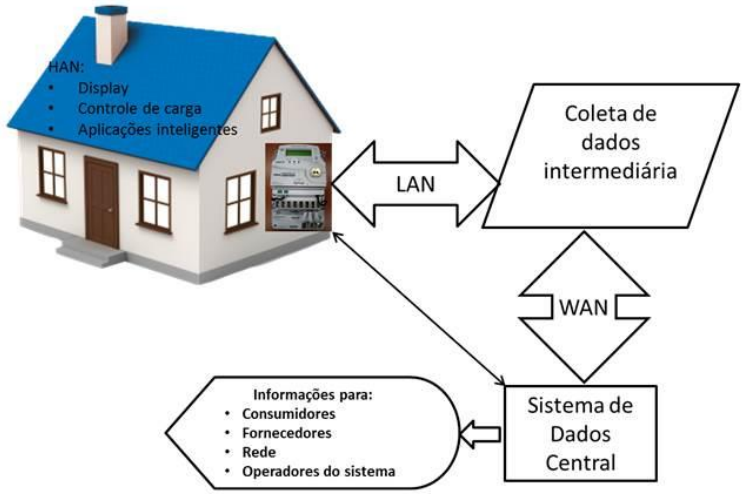
Smart Metering

Trata-se de tecnologias que adicionam funcionalidades ou substituem os medidores tradicionais, inserindo a possibilidade de coleta e armazenamento de dados, troca de informações via sistemas de telecomunicação e também a possibilidade de telecontrole. Esses medidores também tem a capacidade de fornecer informações em tempo real para o consumidor final. Sistemas que operam usando medição inteligente ou *Smart Metering* tem a possibilidade de operar em configurações e sob algoritmos que podem prever a demanda, abrindo a possibilidade para reação a rápidas variações do sistema.

Os seus principais motivadores são: a integração de energia renovável e a criação de um novo mercado de serviços. Alguns dos principais benefícios para os consumidores são: redução das interrupções; restabelecimento mais rápido; faturamento mais preciso; flexibilidade no gerenciamento do consumo; facilitar o acesso a integração de tecnologias a rede (Veículos Elétricos, Energia Renovável, Sistemas de Armazenamento e outros dispositivos).

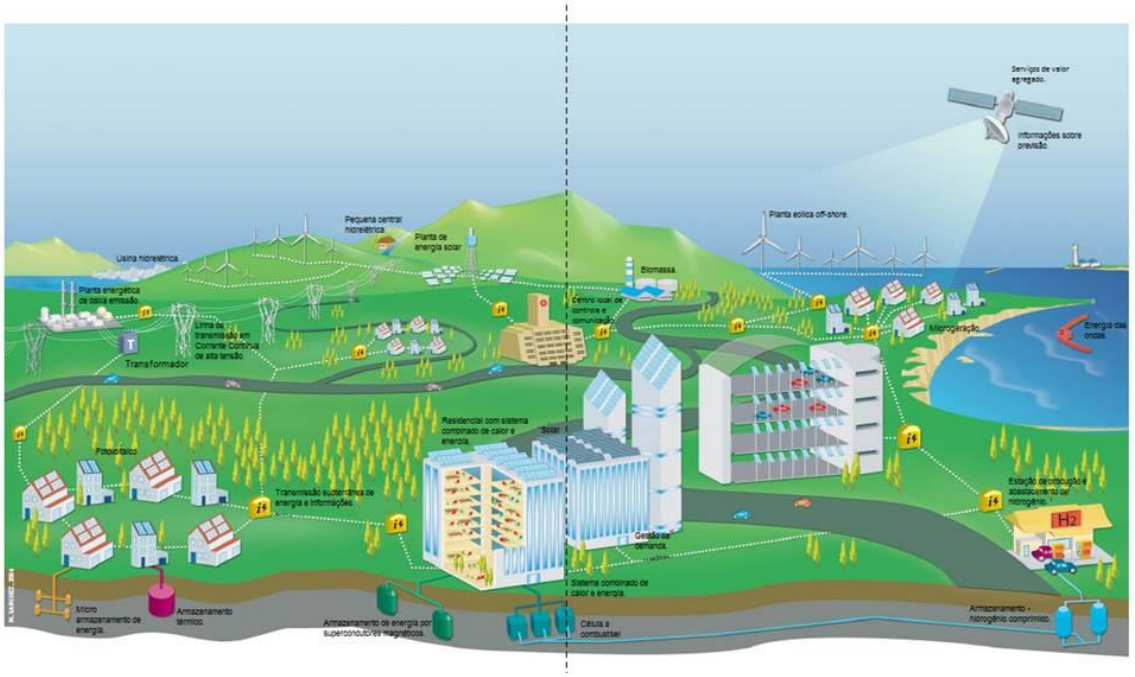
Já para as concessionárias cita-se: controle da demanda; redução dos custos operacionais; resolução de problemas em tempo real e de forma remota; fornece uma oportunidade para a educação de consumidores.

Considerando que a área de concessão da Cemig D possui 8 milhões de consumidores, verifica-se que se trata de um grande esforço de implantação e investimento.



Adaptado de: Haney, Jamasb e Pollitt, 2009

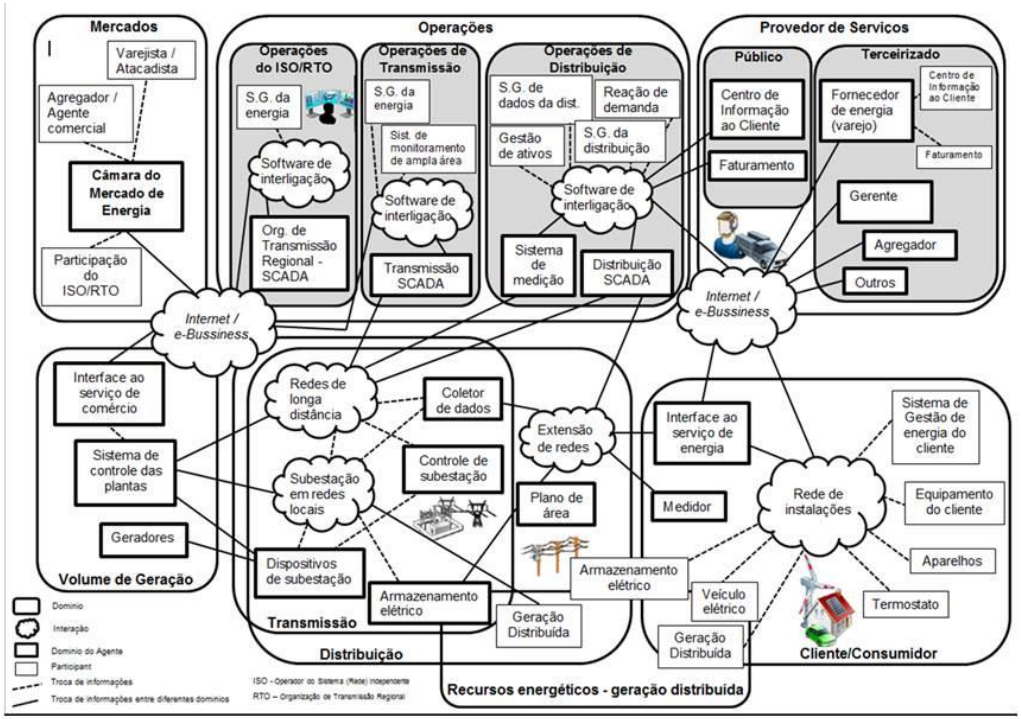
8



Fonte: European Commission, 2006

9

Uma Visão Integral da Tecnologia para Smart Grid

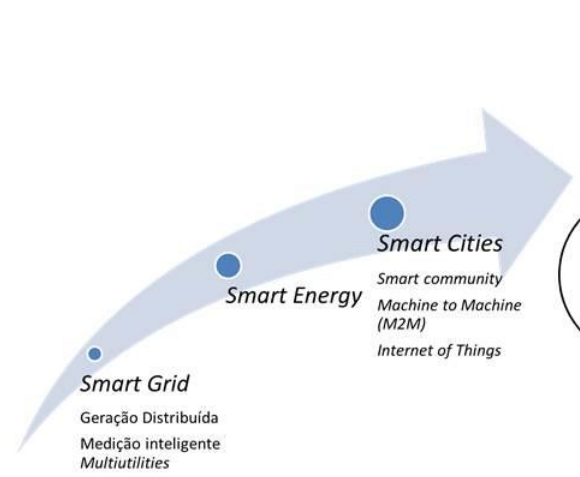


Fonte: NIST, 2010.

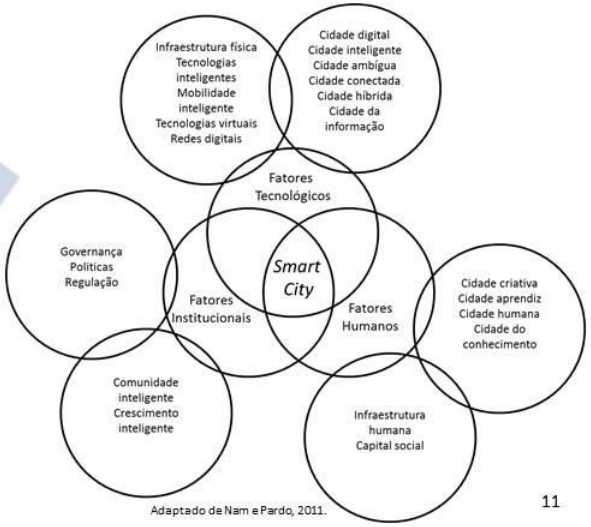
10

Smart Cities

A tendência atual para concentração da população em cidades, que se tornam cada vez maiores, ampliando também os seus problemas (suprimento de energia, destinação de resíduos, deslocamento das pessoas, infraestrutura), juntamente com as pressões ambientais (redução de emissões e da pressão sobre os recursos naturais) e sociais (por inovação, sustentabilidade e oportunidades) exige uma mudança nas abordagens de: planejamento, projeto, finanças, construção, operação e gestão da infraestrutura dos serviços urbanos. O termo *Smart Cities* teve origem no final da década de 1990 em um movimento que defendia novas políticas de planejamento urbano. Ao mesmo tempo em que se configura em soluções pragmáticas de engenharia para os desafios urbanos, tais ações conflitam com as dinâmicas de interação natural das cidades e seus sistemas, exigindo mudanças tecnológicas e comportamentais. Não se trata apenas de um modelo de planejamento, mas de uma integração crítica de infraestrutura e serviços, incentivando e usufruindo de todas as possibilidades oferecidas pelas tecnologias de informação e comunicação (TIC). Contudo, a grande motivação para a construção de *Smart Cities* se trata da expectativa para o desenvolvimento econômico.



Adaptado de Lima, 2015.



Adaptado de Nam e Pardo, 2011.

11

Smart Cities

Mais do que a tomada de decisão quanto a implantação de empreendimentos ou quanto a adoção de tecnologias, a humanidade presencia a convergência de diversos segmentos para um mesmo horizonte de planejamento e de atuação.

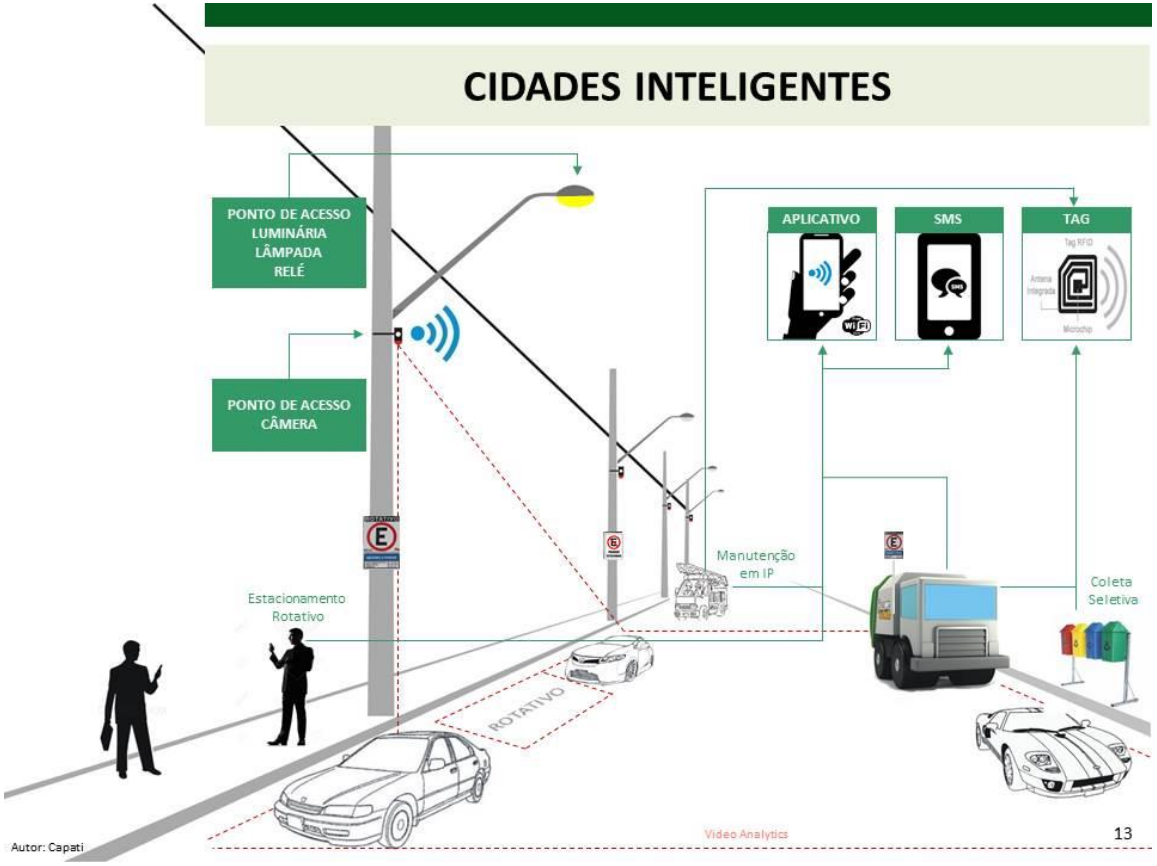
Adaptado de BSI, 2013.

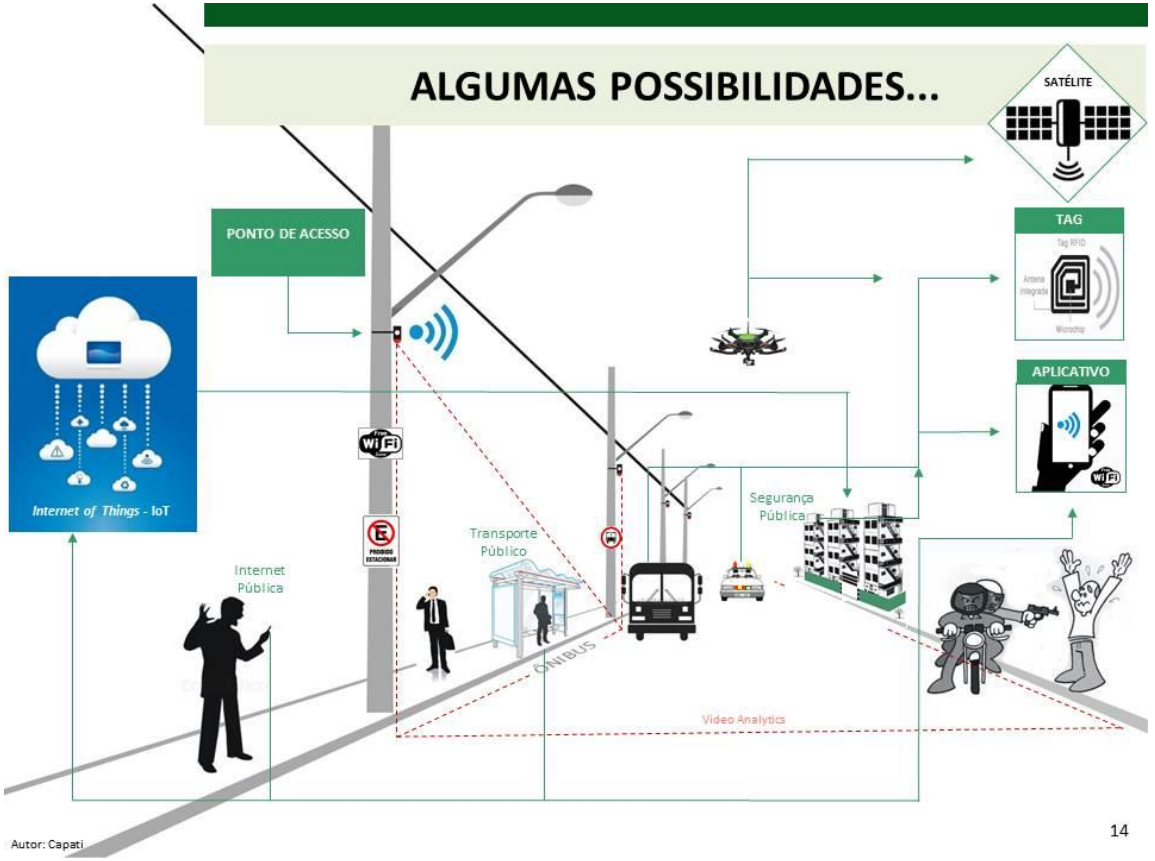
Economia inteligente (Competitividade)	Pessoas inteligentes (Capital Social e Humano)	Meio ambiente inteligente (Recursos Naturais)
•Espírito inovador •Empreendedorismo •Imagem e marcas comerciais econômicas •Produtividade •Flexibilidade no mercado de trabalho •Inserção internacional •Capacidade de transformação	•Nível de qualificação •Afinidade ao aprendizado contínuo •Diversidade étnica e social •Flexibilidade •Criatividade •Cosmopolitismo / Receptivo à novas ideias •Participação na vida pública	•Condições naturais atrativas •Poluição •Proteção ambiental •Gestão sustentável dos recursos
Administração inteligente (Participação)	**Mobilidade inteligente (Transporte e Tecnologia da informação e comunicação)**	**Vida inteligente (Qualidade de vida)**
•Participação na tomada de decisão •Serviços públicos e sociais •Administração transparente •Políticas de estratégia e perspectivas	•Acessibilidade local •Acessibilidade internacional •Avaliação da infraestrutura da tecnologia da informação •Sistemas de transporte sustentáveis, inovadores e seguros	•Instalações culturais •Condições saudáveis •Segurança individual •Qualidade de habitação •Instalações educacionais •Atratividade turística •Coesão social

Adaptado de: Centre of Regional Science, 2007.

O monitoramento massivo abre inúmeras possibilidades de negócios e de benefícios que rompem com o atual modelo energético. Os sistemas energéticos devem evoluir, agregando: informação, automação e inteligência. Desenvolvendo a *Smart Grid* em sua plenitude para suportar a *Smart Cities*.

A CEMIG faz parte deste contexto. Estudando tendências, pesquisando tecnologias, desenvolvendo negócios e educando o consumidor para um futuro energético: sustentável, inovador, eficiente, moderno, *Smart*.


CIDADES INTELIGENTES
PONTO DE ACESSO
LUMINÁRIA
LÂMPADA
RELÉ
PONTO DE ACESSO
CÂMERA
APLICATIVO
SMS
TAG
Tag RFID
Antena Integrada
Microchip
WiFi
Manutenção em IP
Coleta Seletiva
Estacionamento Rotativo
ROTATIVO
Video Analytics
Autor: Capati
13


ALGUMAS POSSIBILIDADES...
SATÉLITE
PONTO DE ACESSO
TAG
APLICATIVO
Internet of Things - IoT
Internet Pública
Transporte Público
Segurança Pública
ÔNIBUS
Video Analytics
Autor: Capati
14

Referências:

BSI. **The Role of Standards in Smart Cities**. 2013. Disponível em: < http://www.bsigroup.com/LocalFiles/en-GB/smart-cities/resources/The-Role-of-Standards-in-Smart-Cities-Issue-2-August-2014.pdf >. Acesso em: 01 de out. 2016.

Centre of Regional Science. Smart cities Ranking of European medium-sized cities. 2007. Disponível em: < http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf >. Acesso em: 30 de set. 2016.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. **Redes elétricas inteligentes: contexto nacional.** Brasília , 2012.

Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte. 2012.

European Comission. **European Technology Platform Smart Grids: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future**. 2009. Disponível em: <http://cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_en.pdf>. Acesso em: 10 de out. 2016.

Haney, A. B., Jamasb, T., Pollitt, M. **Smart Metering and Electricity Demand: Technology, Economics and International Experience**. 2009. Disponível em: < http://www.econ.cam.ac.uk/dae/repec/cam/pdf/cwpe0905.pdf >. Acesso em: 02 de out. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Technology roadmaps smart grids**. 2011. Disponível em: <http://www.iea.org/papers/2011/smartgrids_roadmap.pdf>. Acesso em: 30 set. 2016.

Lima, C. **Smart City, Smart Grid e Geração Distribuída (GD) nas Cidades**. 2015. Disponível em: < http://www.smartcitybusiness.com.br/2015pt/wp-content/uploads/2014/Apresentacoes/claudio-lima-scba2015.pdf >. Acesso em: 11 de out. 2016.

Lopes, Y., Fernandes, N. C., Muchaluat-Saade, D. C. **Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação**. Livro de Minicursos do SBRC 2015. 1ed. Em: . 2015.p. 55-109.

Nam, T., Pardo, T. A. **Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions**. The Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research. 2011.

National Institute of Standards and Technology - NIST. **NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0.** 2010. Disponível em: < https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/public_affairs/releases/smartgrid_interoperability_final.pdf >. Acesso em: 13 de out. 2016.

Netherlands for the World Bank. **Upcoming Smart City Events**. Disponível em: < https://nl4worldbank.org/ > . Acesso em: 10 de out. 2016.

Silva, C. H. F da. **Biomassa e Bioenergia através dos Projetos de P&D da Cemig**. In: Congresso Internacional de Biomassa. Curitiba. 2016.

Uma publicação da
Companhia Energética de Minas Gerais

Av. Barbacena, 1.200 – Santo Agostinho
Belo Horizonte – MG
Cep. 30190-131

Telefone:
(31) 3506-3250

Superintendência de Tecnologia, Inovação e Eficiência Energética
Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas

Autor:
Cláudio Homero Ferreira da Silva

Informações: TE/ET@cemig.com.br
www.cemig.com.br

P&D ANEEL
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GOVERNO DE MINAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
MINAS GERAIS
GOVERNO DE TODOS
P&D ANEEL